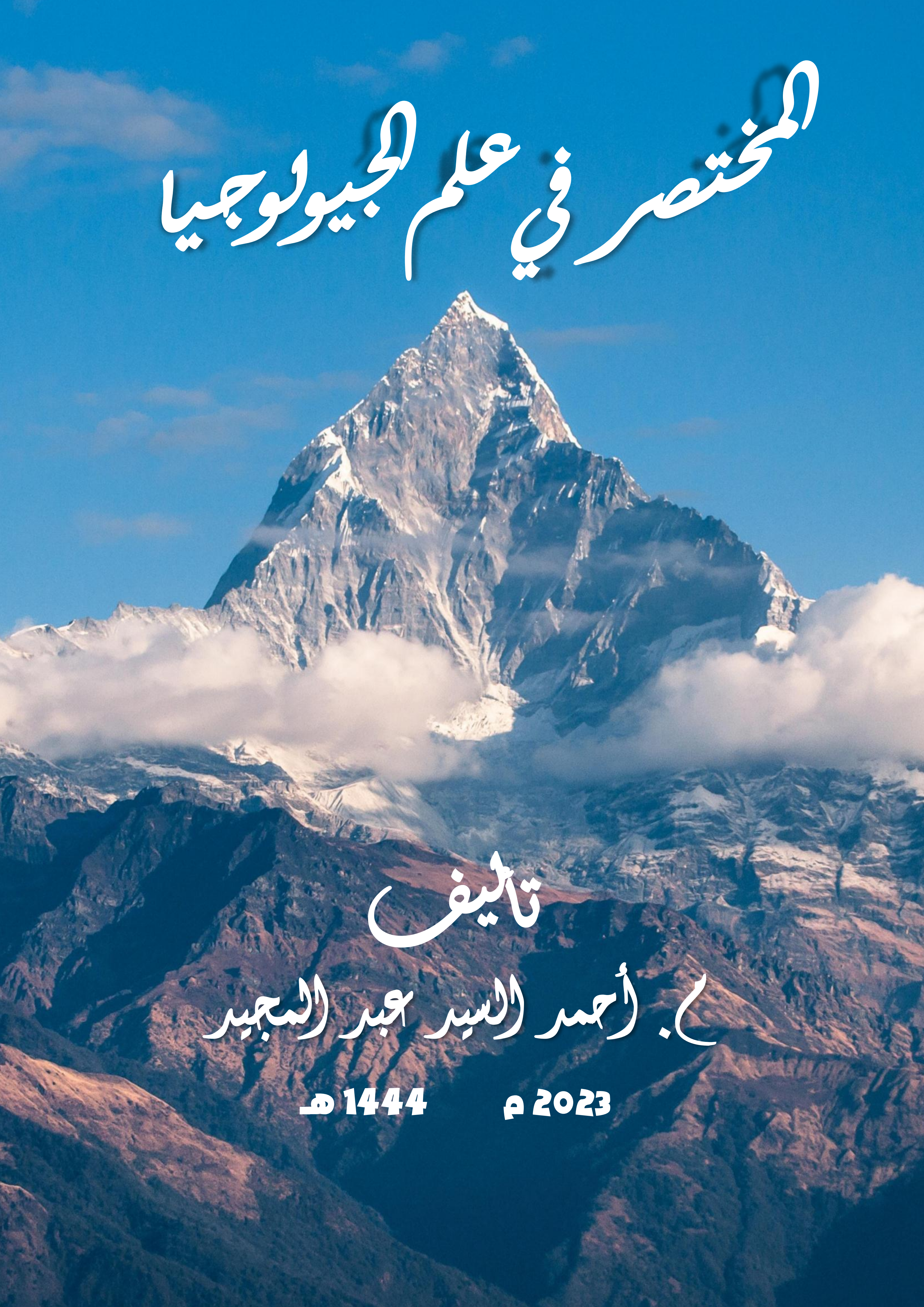


المختصر في علم الجيولوجيا

تأليف

م. أحمد السيد عبد المجيد

2023 م 1444 هـ

المختصر في علم الجيولوجيا

أعداد وتاليف

م . أحمد السيد عبد المجيد

2023 م   1444 هـ



(رَبِّ اشْرَحْ لِي صَدْرِي ❁ وَيَسِّرْ لِي أَمْرِي ❁ وَاحْلُلْ عُقْدَةً مِّن لِّسَانِي ❁ يَفْقَهُوا قَوْلِي)

اهداء

إلي كل طالب علم في اي مكان

إلي كل طالب عربي يدرس الجيولوجيا

اهدى اليه كتاب المختصر في علم الجيولوجيا

داعيا الله عز وجل

ان يكون في العون

والوسيلة ....

أعداد وتاليف

م. أحمد السيد عبد الجيد

المقدمة

عندما تسمع في نشرة الأخبار عن ثورة بركان أو الأضرار التي تلحق بالبشر والمباني والمدن من جرآء حدوث الزلازل ، وعندما نشاهد الأفلام وخصوصاً الأفلام الهندية ونرى المشاهد الرائعة لسهول الجبال ، وعندما نرى جبال البحر الأحمر المختلفة الألوان وشواطئه الخلابة ، وعندما تسبح بعينك في رمال الصحراء الغربية وتنزل بخاطرك إلي واحات مصر الباهرة ، فهذه البقع الخضراء تقع في قلب الصحراء ، ولعله يدور في ذهنك ما هو العلم الذي يهتم بدراسة كل هذه الظواهر ؟!

فتأتيك الإجابة بأن مثل هذه الموضوعات يهتم بها الجيولوجيون ، وعلم الجيولوجيا GEOLOGY (تتكون من مقطعين ، الأول GEO وتعني أرض ، والثاني LOGY وتعني علم) هو العلم الذي يدرس كل ما له علاقة بالآرض ، جوفها وسطحها ، صخورها ومعادنها ، تربتها ورمالها ، أنهارها وبحارها ، جبالها ووديانها ، وكل تغيير قد يطرأ علي سطحها ، وكل تغيير قد يطرأ في جوفها ، وكل الظواهر التي تحدث عليها من براكين وزلازل وغيرها ، ولسنا ندرس الآرض في الحاضر فقط بل ندرس ما كانت عليه في الماضي وندرس الحالة التي كانت عليها الصخور قبل ملايين السنين بناءً علي أدلة نراها في الحاضر.

ولكن لماذا علينا أن ندرس الآرض؟

الإجابة بكل بساطة لآن الآرض هي بيتنا ، ونحن نعتمد علي الآرض في كل شيء ، نشرب من مائها ونتنفس هواءها ونزرع علي تربتها ونستخرج منها مواردنا ؛ لذلك إذا كنا نريد تحقيق أكبر أستفادة من كوكبنا فعلينا أن ندرسه بالتفصيل ، فندرس التربة وأنواعها وتفسير تكونها ، وندرس الصخور والمعادن وما تحويان من موارد وفلزات وثروات.

ونحن أيضاً نبني علي الآرض مساكننا ، فإن لم نتنبأ بإستقرار القاعدة التي نبني عليها وأحتمال وقوع الزلازل فيها فكيف نبني ، فالعديد من الحوادث تقع بسبب التقرير الجيولوجي الخاطئ ، فيحدث إنهدام تام لمبنى ما بسبب التقرير الجيولوجي الهندسي الخاطئ للقاعدة ، أو ربما يقفل طريق بسبب سقوط الصخور الضخمة الكثيرة من جبل مجاور للطريق ، أو ربما ينشق الطريق إنشقاقاً ضخماً بسبب قوي تكتونية مما يؤدي لفشل الطريق وإنعدام الأمان أثناء السير فيه.

بالإضافة إلي ذلك نحتاج لدراسة ماضي الآرض وآلية تكون الجبال والأنهار وتفسير ظواهرها الماضية حتي نتمكن من التنبؤ بأحداث جيولوجية مستقبلية ، ونحتاج أن نتعلم التغيير المناخي الذي حدث في الماضي وسببه حتي نتمكن من تجنب حدوث المزيد من التغيير مستقبلاً ، فمن أجل التنبؤ بالمستقبل كان ضرورياً أن ندرس الحاضر والماضي.

مولد علم الجيولوجيا

نشر العالم جيمس هاتون عام 1785 م نظرية عن الآرض تسمي بالتجانسية (UNIFORMITARIANISM) وهي بداية لعلم الجيولوجيا الحديثة ، وتنص هذه النظرية علي أن القوانين الطبيعية والكيميائية والبيولوجية التي تحدث اليوم أيضاً حدثت في الماضي ، أي أن العمليات والقوي التي نلاحظها الآن وتلعب دوراً في تشكيل كوكبنا فهي تلعب أيضاً منذ وقت بعيد جداً ، ولخصت هذه النظرية بمقولة أن الحاضر هو مفتاح الماضي (THE PRESENT IS THE KEY TO THE PAST).

أهمية علم الجيولوجيا

- دراسة طبيعة الآرض والتعرف علي صلاحيتها من حيث إمكانية بناء إنشاءات عمرانية عليها.
- التنقيب عن الثروات المعدنية مثل الذهب والفضة وغيرها من المعادن.
- إمكانية التنبؤ بوقوع الزلازل والبراكين.
- الكشف عن أبار البترول والغاز الطبيعي ومناطق تجمع المياه في باطن الآرض وإستخراجها.
- البحث عن المواد الأولية التي تدخل في الصناعات الكيميائية مثل عناصر الكبريت والكالسيوم ، وكذلك المواد الأولية التي تدخل في مواد البناء مثل الحجر الجيري الذي يدخل بشكل أساسي في صناعة الأسمنت.

الكرة الآرضية

الكرة الآرضية هي خامس أكبر الكواكب في المجموعة الشمسية ، وثالث أبعد الكواكب عن الشمس ، وتدور الآرض حول الشمس بسرعة (19 ميل / ثانية) فتتم دورة كاملة في 365 يوم وربع تقريباً ، وكوكب الآرض هو الكوكب الوحيد الذي له قمر واحد وهو عبارة عن جسم طبيعي كبير يدور حول الآرض ، حيث يستفيد الإنسان من هذه الحركة في معرفة الأيام والليالي فقد بنيت العديد من التقاويم المختلفة بناءً علي هذه الحركة المستمرة ومن بينها التقويم العربي الهجري الذي يستعمل بشكل كبير في تحديد مواعيد العبادات ... وغير ذلك ، ويأخذ كوكب الآرض شكل جسم شبيه بالكرة منضغط قليلاً عند القطبين ، وقد سمي الجغرافيين الخط الوهمي الذي يصل بين قطبي الآرض بالمحور ، كما أطلقوا علي الدائرة الوهمية التي تفصل نصفها الشمالي عن نصفها الجنوبي بدائرة الإستواء.

ويتميز كوكب الآرض عن سائر الكواكب في مجموعتنا الشمسية بمميزات عديدة منها وفرة الآكسجين في الغلاف الجوي والمياه السائلة علي سطحه ، وكلاهما من أهم مقومات الحياة ؛ لذلك يعتبر الكوكب الوحيد المعروف الذي تسكنه الكائنات الحية بأنواعها المختلفة وعلي رأسها الإنسان ، ويُقسم سطح الآرض إلي قسمين رئيسيين ، المسطحات المائية واليابسة ، حيثُ تعتبر المسطحات المائية الجزء الأكبر من الآرض ، فالماء من العناصر التي لا يمكن للكائنات الحية الإستغناء عنها إلي جانب كونه بيئة مناسبة لعيش العديد من الأنواع منها ، أما اليابسة فهي الجزء الذي يعيش عليه قسم كبير من الكائنات الحية ، حيثُ تتوفر لهم عليها أسباب المعيشة المتنوعة.

كواكب المجموعة الشمسية

كواكب المجموعة الشمسية تسعة وتم إكتشاف كوكب عاشر منذ عدة سنوات يدورون حول الشمس ، والكواكب هي عطارد والزهرة والآرض والمريخ والمشتري وزحل ويورانوس ونبتون وبلوتو ، وتم تقسيم هذه الكواكب أعتماداً علي تـكوينهما ؛ حيث أن الأربعة كواكب القريبة من الشمس (عطارد ، الزهرة ، الآرض ، المريخ) تتكون أساساً من الصخور ويطلق عليها الكواكب الآرضية ، بينما الأربعة كواكب الكبيرة الأخري (المشتري ، زحل ، يورانوس ، نبتون) تتكون أساساً من الهيدروجين والهيليوم ويطلق عليها العمالقة الغازية ، ويختلف كوكب بلوتو في إنه يتكون من صخر مثلج وجليد.

أغلفة الكرة الآرضية

- الغلاف الصخري Lithosphere : يمثل هذا الغلاف الصخور والمعادن المختلفة التي تُكون سطح القشرة الآرضية الذي نعيش عليه ، ويتأثر الغلاف الصخري بجميع الأغلفة الأخري ، حيث أنها تُساهم في تكوين معالمه وتحديد أشكال وأنواع صخوره ومعادنه ، ويتكون الغلاف الصخري من القشرة الآرضية والوشاح ولب الآرض.
- الغلاف المائي Hydrosphere : يُغطي هذا الغلاف حوالي 72 % من مساحة الكرة الآرضية ، ويشمل كل المياه الموجودة علي سطح الآرض من محيطات وبحار وبحيرات وأنهار ، ولا يقتصر الغلاف المائي علي المياه السطحية فقط بل يشمل أيضاً المياه الجوفية التي تتخلل الصخور المسامية وتتسرب خلال الفجوات والشقوق.
- الغلاف الجوي Atmosphere : وهو الغلاف الذي يحيط بالآرض من جميع الجهات ، ويؤثر علي مناخ الكرة الآرضية علي المدي الطويل ، ويحمينا من الأشعاعات الكونية الضارة مثل الأشعة الفوق البنفسجية ويمنع وصولها إلي الآرض ، ويحتوي هذا الغلاف علي العديد من الغازات التي تحتاجها الكائنات الحية في عيشها علي كوكب الآرض ، وهي كالأتى :-
  - ✓ غاز النيتروجين : 78 %
  - ✓ غاز الآكسجين : 21 %
  - ✓ غازات أخري مثل الأرجون وثانى أكسيد الكربون والهيدروجين والهيليوم : 1 %

ويتكون الغلاف الجوي من خمس طبقات رئيسية تتداخل في بعضها البعض مما يجعل الفصل بينهم غير ممكن ، وهي علي الترتيب الأتي : التروبوسفير ، والستراتوسفير ، والميزوسفير ، والثيرموسفير ، والإكزوسفير.

التركيب الداخلي للكرة الآرضية

1. **القشرة الآرضية** Crust : تُعد القشرة الآرضية بمثابة غلاف خارجي رقيق يتراوح سمكه (5 - 70 كم) ، وهي الطبقة الوحيدة من الآرض التي لها إتصال مباشر مع الناس وتتكون القشرة نفسها من جزئين وهما :-

- قشرة قارية Continental Crust : يمتد عمق هذه القشرة (60 كم) تحت القارات ، وكانت تعرف قديماً بإسم صخور السيال SIAL ، وهي تتكون من السيليكون والألومنيوم مثل صخر الجرانيت ، وقد أشتق إسم السيال من الرمز الكيميائي لعنصري السيليكا Si والالومنيا AL.
- قشرة محيطة Oceanic Crust : يمتد عمق هذه القشرة (8 - 12 كم) تحت المحيطات ، وكانت تعرف قديماً بإسم صخور السيما SIMA ، وهي عبارة عن صخور أكبر كثافة من صخور القشرة القارية ، وهي تتكون من السيليكون والماغنسيوم مثل صخر البازلت ، وقد أشتق إسم السيما من الرمز الكيميائي لعنصري السيليكا Si والماغنسيوم Mg.

2. **الوشاح & الستار** Mantel : وهو يمثل 80 % من حجم الكرة الآرضية ويتكون من جزئين وهما :-

- جزء علوي Upper Mantel : يطلق علي هذا الجزء إسم الغلاف المائع Athenosphere ، ويوجد في هذا الجزء ما يُعرف بإسم الماجما ، وهي عبارة عن صخور لدنه مائعة تتصرف تصرف السوائل تحت ظروف خاصة من الضغط ودرجة الحرارة مما يساعد علي إنتشار تيارات الحمل مما يؤدي إلي حركة القارات فوقها ؛ لذلك يطلق علي الجزء العلوي من الوشاح إسم الغلاف الحركي ، وهذا الجزء يمتد (350 كم) بَعد عمق القشرة الآرضية.
- جزء سفلي Lower Mantel : وهو عبارة عن جزء صلب غني بأكاسيد الحديد والسيليكون والماغنسيوم.

3. **جوف الآرض & لب الآرض** Core : يمكن تقسيم جوف الآرض إلي جوف خارجي Outer Core وهو عبارة عن جزء منصهر من الحديد والنيكل ، وجوف داخلي Inner Core وهو عبارة عن جزء صلب غني بالحديد وهو أكبر كثافة من الجزء الخارجي.

ولعله يدور في ذهنك سؤال الآن وهو لماذا لا تنغمس القشرة الآرضية (وهي عبارة عن جزء صلب) في الجزء العلوي من نطاق الوشاح (وهو عبارة عن جزء لدن مائع) ، وكذلك لماذا لا ينغمس الجزء السفلي من الوشاح في الجزء الخارجي من لب الآرض ؟!

فتأتيك الإجابة بأن هذا بسبب إختلاف الكثافة ، فكثافة القشرة الآرضية أقل من كثافة الجزء العلوي من الوشاح ، وكثافة الجزء الخارجي من لب الآرض أكبر من كثافة الجزء السفلي من الوشاح ، ومن هنا نستنتج أنه كلما نزلنا لأسفل في طبقات الآرض إزدادت الكثافة ودرجة الحرارة والضغط وكذلك زيادة نسبة عنصر الحديد ، حيثُ تبلغ نسبة عنصر الحديد في صخور القشرة الآرضية 5 % وتزداد هذه النسبة تدريجياً حتي تصل إلي 90 % في مركز الآرض.

الشواهد الدالة علي التركيب الداخلي للكرة الآرضية

يعد باطن الآرض مجهول بالنسبة للإنسان ولا يستطيع ملاحظته مباشرة من علي سطح الآرض ، وأعمق حفر وصل إليه الإنسان علي الآرض يقترب من (13 كم) وهو بذلك مازال في القشرة الآرضية وبعيداً عن طبقة الوشاح ، وصحيح أن سطح الآرض يستطيع أن يمدنا ببعض الأدلة لما هو موجود أسفله ، فعلي سبيـل المثال الحمم البركانية التي تنبعث من البراكين هي شاهد علي درجات الحرارة المرتفعة جداً داخل الآرض ؛ لذلك أعتمد علماء الآرض علي نوع واحد من الطرق الغير مباشرة ، حيثُ أعتمدت هذه الطرق علي سريان الموجات الزلزالية خلال الآرض ، ولكن ما هي الموجات الزلزالية Seismic waves ؟!

الموجات الزلزالية

كيفما يفعل الخفاش في طيرانه وعدم إصطدامه بالمباني بالرغم من أنه طائر أعمي فهو يصدر أصواتاً تصطدم بالعائق أمامه ثم يستقبلها مرة أخري ليتفادي هذا العائق (سبحان الله) ، وبنفس الطريقة عندما يحدث زلزال فجاه يُسبب هزات أرضية تُسبب موجات تصادمية في الآرض تسمي الموجات الزلزالية ، وأستخدم علماء الآرض لتحديد هذه الموجات الزلزالية وتسجيلها جهاز يطلق عليه السيزموجراف Seismograph ، وتوضع السيزموجرافات في كل مكان علي سطح الآرض وبمقارنة شدة وزمن وصول الموجات في أماكن مختلفة أستطاع العلماء أستنتاج معلومات قيمة عن باطن الآرض.

والموجات الزلزالية أنواع عديدة جداً تنتجها الزلازل ، ومن ضمن هذه الأنواع نوعان مهمان لدراسة باطن الآرض تسمي الموجات الأولية (P-Wave) والموجات الثانوية (S-Wave) ، حيثُ أن الموجات الأولية تسير في جميع الأوساط سواء كان الوسط صلب أو سائل أو شبه سائل ، بينما الموجات الثانوية تسير خلال الأوساط الصلبة فقط ، ومن خلال ذلك لأحظ العلماء أن الموجات الثانوية تَرتد من علي سطح الطبقة الخارجية المكونة لجوف الآرض ، وهذا دليل علي أن الجزء الخارجي من جوف الآرض سائل أو شبه سائل وليس بصلب كما ذكرنا.

مقياس الزمن الجيولوجي

يُعرف مقياس الزمن الجيولوجي بأنه تقسيم لتاريخ الآرض وأحداثها بناءً علي أشكال الحياة التي سادت في أوقات محددة منذ نشأتها ، وقد عثر علي معظم أشكال الحياة القديمة من خلال دراسة الحفريات حيثُ وفرت هذه الدراسة معلومات هامة عن تاريخ الآرض وتطور الحياة ، وتمكن الجيولوجيين من وضع العمود الجيولوجى كتقويم يشمل كل تاريخ الآرض ، ومنذ نشاة العمود الجيولوجي في بدايات القرن التاسع عشر وحتي الآن يتم تحديثه بإستمرار ليصل إلي أوضح رؤية لتاريخ الآرض ، وعلي هذا فإن أخر أصدار للعمود الجيولوجي كان في عام 2022.

Epoch حين / فترة	Period عصر	Era حقبة	Eon دهر
Holocene الهولوسين	العصر الرابع Quaternary	حقبة الحياة الحديثة Cenozoic	دهر الحياة المعلومة بدا منذ 542 مليون سنة يتشكل 13 ٪ من عمر الآرض.
Pleistocene البلستوسين			
Pliocene البليوسين	العصر الثالث Tertiary		
Miocene الميوسين			
Oligocene الإوليجوسين			
Eocene الإيوسين			
Paleocene الباليوسين			
----	Cretaceous الطباشيري	حقبة الحياة المتوسطة Mesozoic	
	Jurassic الجوراسي		
	Triassic الترياسي		
-----	Permian البرمي	حقبة الحياة القديمة Paleozoic – المتأخر Late	
	Carboniferous الكربوني		
	Devonian الديفوني		
	Silurian السيلوري	حقبة الحياة القديمة Paleozoic – المبكر Early	
	Ordevician الأوردفيتشي		
	Cambrian الكمبري		
----	----	الحياة الأبتدائية Proterozoic	دهر الحياة الغير معلومة " ما قبل الكمبري " يتشكل 87 ٪ من عمر الآرض.
----	----	Archean الحياة السحيقة	
----	----	Hadean الهديان	

نبذة مختصرة عن أهم الأحداث خلال الزمن الجيولوجي

أولاً : أحداث ما قبل الكمبري PRE-CAMBRIAN

- نشاة الآرض والغلاف الصخري والجوي والمائي في حقبة الهديان (منذ 4600 مليون سنة).
- ظهور أقدم صخر علي الآرض وكذلك الكائنات وحيدة الخلايا (البكتيريا اللاهوائية) في حقبة الحياة السحيقة.
- بداية تكون غاز الآكسجين في الهواء الجوي منذ بداية حقبة الحياة الأبتدائية.
- ظهور الكائنات عديدة الخلايا (الطحالب الخضراء) في حقبة الحياة الأبتدائية.

ثـانياً : أهم الأحداث في حقبة الحياة القديمة PALEOZOIC

- ظهور الحيوانات اللافقارية البحرية ثلاثية الفصوص وكذلك ظهور كائنات حية هيكلية في العصر الكمبري.
- ظهور أول أنواع الأسماك في العصر الأوردفيشى.
- ظهور أول نباتات أرضية في العصر السيلوري.
- بداية تكوين رواسب الفحم مع نهاية العصر الديفوني وحتي العصر الكربوني.
- ظهور السراخس والأشجار الحرشفية خلال العصر الكربوني.
- بداية إنفصال وتفكك قارة بانجيا في نهاية العصر البرمي وحتي بداية حقبة الحياة المتوسطة.

ثـالثاً : أهم الأحداث في حقبة الحياة المتوسطة MESOZOIC

- نشاة المحيط الأطلسي خلال العصر الترياسي نتيجة تباعد اللوح القاري الأفريقي عن اللوح القاري الأمريكي الجنوبي.
- ظهور بدائيات الطيور والثدييات وسيادة الزواحف العملاقة خلال العصر الجوراسي.
- ظهور أول نباتات زهرية مع نهاية العصر الجوراسي.
- تكوين جبال روكي والالب وكذلك إنقراض الزواحف العملاقة (منذ 65 مليون سنة) خلال العصر الطباشيري.

رابعاً : أهم الأحداث في حقبة الحياة الحديثة CENOZOIC

- فتح بحر النرويج وظهور الحيوانات الرئيسية مثل الشمبانزي مع بداية فترة الباليوسين.
- فصل قارة أستراليا عن القارة القطبية الشمالية مع بداية فترة الإيوسين.
- إندمجت الهند مع قارة أسيا ونشاة المحيط الهندي مع نهاية فترة الإيوسين وحتي فترة الإوليجوسين.
- نشاة البحر الأحمر مع بداية فترة الميوسين نتيجة تباعد اللوح العربي (شبه الجزيزة العربية) عن اللوح الأفريقي.
- ظهور القرد الجنوبي المتوحش مع بداية فترة البليوسين.
- خلق الله الإنسان ونزل الآرض مع نهاية فترة البلستوسين وبداية فترة الهولوسين (والله أعلي وأعلم).
- ثقب طبقة الأوزون وتلوث البيئة الآرضية وغرق بعض الشواطئ المصرية مثل الإسكندرية خلال فترة الهولوسين.

معادن القشرة الأرضية

تتكون القشرة الآرضية بشكل أساسي من المعادن والصخور ، ويمكن تعريف المعدن بأنه عبارة عن مادة صلبة غير عضوية تكونت بفعل العوامل الطبيعية ولها تركيب كيميائي متجانس ونظام بللورى محدد يميز كل معدن عن غيره ، بينما الصخر عبارة عن خليط من معادن مختلفة ، أي أن المعدن هو الوحدة البنائية التي يتكون منها صخور القشرة الآرضية.

ومن الجدير بالذكر أن الصخر قد يتكون من معدن واحد مثل صخر الحجر الجيري وصخر الرخام الذي يتكونا من معدن الكالسيت ، وقد يتكون الصخر من أكثر من معدن مثل صخر البازلت الذي يتكون من معادن الاوليفين والبيروكسين والامفيبول ، وأيضاً صخر الجرانيت الذي يتكون من معادن الكوارتز والفلسبار والميكا.

وقد يتكون المعدن من عنصر كيميائي واحد مثل معدن الماس الذي يتركب من عنصر الكربون النقي ، ومعدن الجرافيت الذي يتركب من عنصر الكربون الغير نقي ، وقد يتكون المعدن من أكثر من عنصر كيميائي مثل معدن الكالسيت.

تصنيف المعادن

- معادن العناصر الفلزية مثل الذهب والفضة والنحاس.
- معادن العناصر الغير فلزية مثل الكبريت والجرافيت والماس.
- معادن الكبريتيدات مثل الجالينا والبيريت.
- معادن الهالوجينات مثل الهاليت والفلوريت.
- معادن الكربونات مثل الكالسيت والارجونيت والدولوميت.
- معادن الفوسفات مثل معدن الاباتيت $Ca_5(F,Cl,OH)(PO_4)_3$.
- معادن الكبريتات : وهي قد تـكون
  - ✓ كبريتات لا مائية مثل معدن الانهيدريت $CaSO_4$.
  - ✓ كبريتات مائية مثل معدن الجبس $CaSO_4.2H_2O$.
- معادن الاكاسيد : وهي قد تـكون
  - ✓ أكاسيد فلزات لا مائية مثل الهيماتيت Fe_2O_3 والكورندم Al_2O_3.
  - ✓ أكاسيد فلزات مائية مثل جوثيت $HFeO_2$ والأوبال $SiO_2.nH_2O$.
- المعادن السيليكاتية (SiO_4) : تعتبر أشهر المعادن المكونة لصخور القشرة الآرضية[1] ، والوحدة الأساسية لتركيب هذه المعادن هي الآكسجين والسيليكون في هيئة رباعية ، أي يحيط بكل ذرة سيليكون أربع ذرات من الآكسجين ، ومن أشهر المعادن السيليكاتية معادن الاوليفين والبيروكسين والامفيبول والكوارتز والميكا والفلسبارات والصوان.

[1] تعتبر المعادن السيليكاتية أشهر المعادن المكونة لصخور القشرة الأرضية ؛ لأنها هي المسؤولة عن تكوين الماجما ، والماجما هي المسئولة عن تكوين الصخور النارية ، والصخور النارية هي أم الصخور والتي منها يتكون جميع صخور القشرة الأرضية.

الخواص الطبيعية للمعادن

عبارة عن مجموعة من الصفات التي يمكن دراستها بإستخدام أختبارات وأدوات بسيطة تعتمد أساساً علي الضوء العادي الساقط عليه والمظهر الذى يبديه السطح الخارجي للمعدن إلي جانب قوة تماسك مكوناته وذلك بهدف التعرف علي المعدن ، ومن أهم الخواص الطبيعية :-

أولاً : الخواص البصرية Optical Properties

1. اللون Color : قد يكون لون المعدن ثابت مثل معدن الكبريت الذي يتميز بـ لونه الأصفر ، وقد يتغير لون المعدن نتيجة تعرضه لشوائب مثل معدن الكوارتز SiO_2 ، ولكن إذا لم يتعرض معدن الكوارتز لآي شوائب فيكون لونه في هذه الحالة شفاف ويطلق عليه الكوارتز النقي أو البللورة الصخرية ، وهذا النوع هو الذي يدخل في صناعة الزجاج.
   - ✓ إذا تعرض معدن الكوارتز لطاقة إشعاعية كبيرة فيتم كسر الروابط ويتحول إلي اللون الرمادي المدخن.
   - ✓ إذا تعرض معدن الكوارتز لفقاعات غازية فإنه يتحول إلي اللون الأبيض.
   - ✓ إذا تعرض معدن الكوارتز لشوائب المنجنيز فإنه يتحول إلي اللون الوردي.
   - ✓ إذا تعرض معدن الكوارتز لشوائب أكسيد حديد فإنه يتحول إلي اللون البنفسجي ، ويطلق عليه في هذه الحالة إسم الجمشت ، وإذا تعرض الجمشت للتسخين فإنه يتحول إلي اللون الأصفر ويطلق عليه إسم السيترين.
2. المخدش Streak : عبارة عن لون مسحوق المعدن نتيجة خدشه علي قطعة من الصيني الغير مصقول ، والفرق بين لون المعدن ومخدشه ، هو أن مخدش المعدن ثابت بينما لون المعدن يتغير كما ذكرنا ، فعلي سبيل المثال معدن الهيماتيت يتميز بلونه الأحمر أو الرمادي ومخدشه أحمر ، ومعدن البيريت يتميز بلونه الأصفر الذهبي ومخدشه أسود.
3. الشفافية Transparency : عبارة عن قدرة المعدن علي نفاذ الضوء من خلاله ، وتنقسم المعادن من حيث الشفافية إلي ثلاث أنواع ، المعادن الشفافة وهي المعادن التي تسمح بمرور معظم الضوء الساقط عليها ويمكن رؤية الأجسام من خلالها بسهولة مثل معدن الكالسيت والكوارتز النقي ، والمعادن النصف شفافة وهي معادن تسمح بنفاذ الضوء بكمية أقل من المعادن الشفافة ولا تسمح بروية الأجسام من خلالها مثل معدن الاورثوكليز ، والمعادن المعتمة وهي المعادن التي لا تسمح بمرور الضوء من خلالها مثل معدن البيريت.
4. البريق Luster : عبارة عن درجة إنعكاس الضوء الساقط علي المعدن ، فإذا كان الضوء الساقط علي المعدن كبير فيكون البريق فلزي (Metallic Luster) مثل معدن الذهب والجالينا ، وإذا كان الضوء الساقط علي المعدن صغير فيكون البريق غير فلزي (Non Metallic Luster) ، والبريق الغير فلزي يشمل عدة أنواع منها البريق الزجاجي مثل معدن الكوارتز والكالسيت ، وبريق لؤلؤي مثل معادن الفلسبارات ، وبريق ماسي مثل معدن الماس ، وبريق صمغي مثل معدن الكبريت ، وبريق طيني أو ترابي أو أرضي مثل معدن الكاولينايت.

ثانياً : الخواص التماسكية Cohesive Properties

5. الصلادة Hardness : عبارة عن درجة مقاومة المعدن للخدش ، وقد أقترح العالم موهس (Mohs) مقياساً للصلادة مستخدماً عشرة معادن تبدأ بأقل المعادن صلادة وهو التلك وتنتهي بأكثر المعادن صلادة وهو الماس ، حيث أن المعدن الأكثر صلادة يخدش المعدن الأقل منه صلادة ، وهذا المقياس يتدرج من رقم 1 إلي 10.

1. التلك Talc
2. الجبس Gypsum
3. الكالسيت Calcite
4. فلوريت Fluorite
5. الاباتيت Apatite
6. الارثوكليز Orthoclase
7. الكوارتز Quartz
8. التوباز Topaz
9. الكورندم Corundum
10. الماس Diamond

ويمكن تعيين صلادة المعدن بواسطة عدة طرق شائعة منها ظفر الإنسان الذي يبلغ صلادته 2.5 ، والعملة المعدنية الذي تبلغ صلادتها 3.5 ، والقطعة الزجاجية الذي تبلغ صلادتها 5.5 ، ولوح المخدش الذي يبلغ صلادته 6.5.

6. الإنفصام Cleavage : عبارة عن قابلية المعدن للتشقق في أماكن ضعيفة الترابط نسبياً ، حيث أن بعض المعادن تكون عديمة الإنفصام مثل معدن الكوارتز لكونه معدن قوي يحتوي علي مناطق قوية الترابط ، وبعض المعادن لها خاصية الإنفصام ، حيث يكون الإنفصام في إتجاه واحد مثل معدن الميكا ذات الإنفصام الصفائحي ، ومعدن الجرافيت ذات الإنفصام القاعدي ، وقد يكون الإنفصام في أكثر من إتجاه مثل معدن الهاليت ذات الإنفصام المكعبي ، ومعدن الكالسيت ذات الإنفصام معيني الأوجه.

7. المكسر Fracture : عبارة عن الشكل الذي يأخذه سطح المعدن عند كسره صناعياً في إتجاهات تختلف عن الإتجاهات التي ينفصم فيها المعدن ، وهناك عدة أشكال للأسطح المعدنية التي تتعرض للكسر صناعياً منها المكسر المحاري مثل معدن الكوارتز ، والمكسر الآرضي مثل معادن الطين ، والمكسر الليفي مثل معدن التلك ، والمكسر المسنن مثل معدن الذهب ، والمكسر المستوي مثل معدن الصوان ، والمكسر الغير مستوي مثل معدن الباريت.

الثقل النوعي Specific Gravity

الثقل النوعي عبارة عن نسبة بين وزن حجم معين من المعدن إلي وزن مساو له من الماء ، أو النسبة بين كثافة المعدن إلي كثافة الماء ، ويمكن تعينه بوزن المعدن في الهواء ثم وزنه في الماء كما في المعادلة الأتية :-

$$\text{الوزن النوعي} = \frac{\text{وزن المعدن في الهواء}}{\text{وزن المعدن في الهواء} - \text{وزنه في الماء}}$$

خواص أخري

هناك خواص أخري تتميز بها بعض المعادن دون البعض الأخر مثل الملمس والرائحة والمذاق فهناك معادن تتميز بالملمس الصابوني مثل معدن التلك ، والملمس الدهني مثل الجرافيت ، وهناك أيضاً معادن تتميز برائحتها مثل معدن البيريت عند تسخينه (رائحة الكبريت) ، وهناك معادن تتميز بمذاقها المميز مثل معدن الهاليت الذي يتميز بطعمه الملحي ، وهناك معادن لها قابلية للسحب والطرق للتشكيل علي هيئة رقائق وأسلاك مثل معدن الذهب والفضة والنحاس ، وقد يكون لبعض المعادن خواص مغناطيسية تجعلها تتجاذب أو تتنافر مع المغناطيس مثل معدن المجانتيت ، ويوجد لبعض المعادن خواص حرارية مثل خاصية الإنصهار التي تساعد في التعرف علي المعدن مثل معدن الهاليت الذي ينصهر عند 800 درجة مئوية.

الأنظمة البللورية

كما ذكرنا أن كل صخر يتكون من معدن واحد أو مجموعة من المعادن ، وكذلك المعدن يتكون من عنصر واحد أو مجموعة من العناصر المختلفة التي تلتحم مع بعضها البعض علي هيئة نظام بللوري ، ويتميز كل نظام بخصائص وصفات معينة تُعطي المعدن شكله المميز عن بقية المعادن ، ويمكن تعريف النظام البللوري بأنه عبارة عن ترتيب ذرات عناصر المعدن ترتيباً متناسقاً ، والبللورة عبارة عن جسم هندسي مصمت لها تركيب كيميائي متجانس تكونت بفعل عوامل طبيعية تحت ظروف خاصة من الضغط ودرجة الحرارة ، وهذه الظروف هي التي تتحكم في حجم الأوجه البللورية المتكونة.

خواص البللورة

- **الأوجه البللورية : عبارة عن الأسطح الخارجية المستوية الملساء التي تحدد شكل البللورة.**
- **الحواف البللورية : عبارة عن التقاء وجهين بللورين متجاورين.**
- **الزوايا المجسمة : عبارة عن التقاء أكثر من وجهين بللورين.**
- **المحاور البللورية : وهي الأبعاد الداخلية لـ البللورة (أ ، ب ، ج).**
- **الزوايا المحورية : وهي الزوايا التي تقع بين المحاور البللورية.**
  - ✓ **الفا α : هي الزاوية بين المحورين (ب ، ج).**
  - ✓ **بيتا β : هي الزاوية بين المحورين (أ ، ج).**
  - ✓ **جاما γ : هي الزاوية بين المحورين (أ ، ب).**

الفصائل البللورية

تُقسم البللورات إلي سبعة أنظمة بللورية رئيسية وذلك علي أساس أطوال المحاور البللورية والزوايا المحورية ، وتتفرع من الأنظمة البللورية الرئيسية أشكال بللورية ثانوية متعددة " يمكنك رؤيتها من هنا ".

1. **نظام المكعب Cubic**
   - **المحاور البللورية : أ = ب = ج**
   - **الزوايا المحورية : الفا = بيتا = جاما = °90**
   - **يتميز هذا النظام بثلاث محاور بللورية متساوية في الطول ومتعامدة علي بعضها البعض.**

2. نظام الرباعي Tetragonal
- المحاور البللورية : أ = ب ≠ ج
- الزوايا المحورية : الفا = بيتا = جاما = 90°
- يتميز هذا النظام بثلاث محاور بللورية ، أثنين متساويين في الطول والثالث (المحور ج) أطول أو أقصر منهما ومتعامدة علي بعضها البعض.

3. نظام المعيني القائم Orthorhombic
- المحاور البللورية : أ ≠ ب ≠ ج
- الزوايا المحورية : الفا = بيتا = جاما = 90°
- يتميز هذا النظام بثلاث محاور بللورية غير متساوية في الطول ومتعامدة علي بعضها البعض.

4. نظام السداسي Hexagonal
- المحاور البللورية : أ$_1$ = أ$_2$ = أ$_3$ ≠ ج
- الزوايا المحورية : الفا = جاما = 90° ، بيتا = 120°
- يتميز هذا النظام بأربعة محاور بللورية ، ثلاث محاور أفقية ومتساوية وبينهما زاوية 120° والمحور الرابع أطول أو أقصر منهما ومتعامد علي المحاور الأخري.

5. نظام الثلاثي Trigonal
- المحاور البللورية : أ$_1$ = أ$_2$ = أ$_3$ ≠ ج
- الزوايا المحورية : الفا = جاما = 90° ، بيتا = 120°
- يتميز هذا النظام بأربعة محاور بللورية ، ثلاث محاور أفقية ومتساوية وبينهما زاوية 120° والمحور الرابع أطول أو أقصر منهما ومتعامد علي المحاور الأخري ، والفرق بين فصيلة الثلاثي وفصيلة السداسي أن المحور (ج) في فصيلة الثلاثي محور ثلاثي التماثل ، بينما في فصيلة السداسي محور سداسي التماثل.

6. نظام أحادي الميل Monoclinic
- المحاور البللورية : أ ≠ ب ≠ ج
- الزوايا المحورية : الفا = جاما = 90° ≠ بيتا
- يتميز هذا النظام بثلاث محاور بللورية غير متساوية في الطول ، والمحور (ج) متعامد علي المحور (ب) والمحور (أ) يميل جداً علي المحور (ب).

7. نظام ثلاثي الميل Triclinic
- المحاور البللورية : أ ≠ ب ≠ ج
- الزوايا المحورية : الفا ≠ بيتا ≠ جاما ≠ 90°
- يتميز هذا النظام بثلاث محاور بللورية غير متساوية في الطول ومائلة علي بعضها البعض.

نبذة مختصرة عن أهم خامات المعادن

أولاً : معادن العناصر الفلزية

وجه المقارنة	الذهب *Gold*	الفضة *Silver*	النحاس *Copper*
التركيب الكيميائى	*Au*	*Ag*	*Cu*
النظام البللورى	المكعب	المكعب	المكعب
الصلادة	*3 - 2.5*	*3 - 2.5*	*3 - 2.5*
الأستخدام	يستخدم في صناعة العملة وطلاء المعادن وصناعة الأسنان.		

ثـانياً : معادن العناصر الغير فلزية

وجه المقارنة	الكبريت *Sulfur*	الجرافيت *Graphite*	الماس[2] *Diamond*
التركيب الكيميائى	*S*	الكربون الغير نقي	الكربون النقي
النظام البللورى	المعيني القائم	السداسي	المكعب
الصلادة	*2.5 -1.5*	*1.5*	*10*
الأستخدام	يستخدم في صناعة حمض الكبريتيك وعيدان الكبريت والمبيدات الحشرية.	يستخدم في صناعة المحركات وأقلام الرصاص والصبغات.	يستخدم في صناعة المجواهرات ، وفي صناعة أدوات الحفر للبحث عن البترول ، وفي صناعة آلات تقطيع الزجاج.

[2] تم إكتشاف الماس لأول مرة في البرازيل ، ثم أكتشف مرة أخري في جنوب أفريقيا ، وتعتبر جنوب أفريقيا المصدر الرئيسي للماس في العالم حيثُ يتم إنتاجه بأكثر من 95 % من الإنتاج العالمي.

ثـالثاً : معادن الكبريتيدات

وجه المقارنة	الجالينا *Galena*	سفاليريت *Sphalerite*	البيـريت *Pyrite*
التركيب الكـيـمـيـائى	PbS	ZnS	FeS_2
النظام البـللورى	المكعب	المكعب	المكعب
الصلادة	2.5	4 - 3.5	6.5 - 6
الأستخدام	أهم مصدر لعنصر الرصاص الذي يستخدم في صناعة البويات والبطاريات واللحام.	أهم مصدر لعنصر الزنك الذي يستخدم في صناعة الحديد وصناعة النحاس الأصفر.	مصدر هام لثانى أكسيد الكبريت في صناعة حمض الكبريتيك.

رابعاً : معادن الهالوجينات

وجه المقارنة	الهاليت *Halite*	فلوريت *Falurite*
التركيب الكـيـمـيـائى	$NaCl$	CaF_2
النظام البـللورى	المكعب	المكعب
الصلادة	2.5 - 2	4
الأستخدام	يستخدم في الأغراض المنزلية (ملح الطعام).	يستخدم كعامل مساعد في صناعة الصلب.

خامساً : معادن الكربونات

وجه المقارنة	الكالسيت *Calcite*	الدولوميت *Dolomite*	مالاكيت *Malachite*
التركيب الكيميائى	$CaCO_3$	$CaMg(CO_3)_2$	$Cu_2CO_3(OH)_2$
النظام البللورى	السداسى	السداسى	أحادى الميل
الصلادة	*3*	*4 - 3.5*	*4 - 3.5*
الأستخدام	يستخدم في أعمال البناء وصناعة الإسمنت وصناعة الآلات البصرية.	يستخدم في أعمال البناء والزخرفة.	يستخدم في أعمال النحت والنقاشة.
التفاعل مع *HCL*	يتفاعل بشدة مع حامض الهيدروكلوريك المخفف.	يتفاعل ببطء مع حامض الهيدروكلوريك المخفف.	يتفاعل معه ويحدث فقاعات وينتج محلول لونه أزرق.

س ـ . ما الفرق بين الكالسيت والارجونيت بالرغم من أن لهما نفس التركيب الكيميائي $CaCO_3$ ؟

وجه المقارنة	الكالسيت	الارجونيت
النظام البللورى	السداسي	المعيني القائم
الإستقرار	يعتبر الكالسيت أكثر أشكال كربونات الكالسيوم أستقراراً، وهو أكثر أستقراراً من الارجونيت حيث يتحول الارجونيت إلي الكالسيت عند درجة حرارة *470* درجة مئوية ، ويترسب الارجونيت عادة من المحاليل الحارة بينما يتكون الكالسيت في المحاليل الباردة.	

سادساً : معادن الكبريتات

وجه المقارنة	الجبس *Gypsum*	الباريت *Barite*
التركيب الكيميائى	$CaSO_4.2H_2O$	$BaSO_4$
النظام البللورى	أحادى الميل	المعيني القائم
الصلادة	*2*	*3.5 - 3*
الأستخدام	علي حسب نوعه	يستخدم في صناعة الألوان.

أنواع الجبس

- الجبس الخام : هو الذي يستخدم بعد إستخراجه مباشرة من الصخور دون أن تجري عليه أي عمليات صناعية وهو الذى يستخدم في صناعة الأسمنت البورتلندى لأنه يتحكم في زمن الشك.
- الجبس الزراعي : هو الجبس الخام الذي يستخدم في أستصلاح الأراضي القلوية والمحلية ، ويشترط في هذا النوع أن يحتوي علي أكثر من 70 % بالوزن من كبريتات الكالسيوم $CaSO_4$.
- الجبس الصناعي : يمر بعدة مراحل لتصنيعه ، تبدأ هذه المراحل بإستخراج الجبس الخام من الصخور ، ثم التكسير إلي أحجام مناسبة ، ثم الدخول إلي الفرن ، ثم تبدأ عمليات الحرق ، وتستخدم فيها الأفران الدوارة التي تترواح درجة حرارتها بين (120- 180 درجة مئوية) حيث يفقد الجبس حوالي ثلاث أرباع ماء التبلور ، ثم يصنف الجبس بعد ذلك بالنسبة لدرجة نعومته ويعبأ في عبوات مناسبة.

أنواع الجبس الصناعي

- الجبس البلدي : يستخدم في أعمال البياض بالمباني.
- جبس المصيص : يستخدم في طبقة الضهارة لبياض الأسقف والحوائط الداخلية.
- جبس التشكيل : يستخدم في صناعة التماثيل وأعمال الزخرفة ، ويستخدم أنقى أنواع هذا النوع من الجبس في جراحة العظام وتجهيز الأربطة الطبية.

سابعاً : معادن الأكاسيد

وجه المقارنة	الهيماتيت *Hematite*	المجانتيت *Magnetite*	الليمونيت *Limonite*
التركيب الكيميائى	Fe_2O_3 ويطلق عليه أكسيد الحديد الأحمر.	Fe_3O_4 ويطلق عليه أكسيد الحديد الأسود أو المغناطيسي.	$FeO(OH).nH_2O$ ويطلق عليه أكسيد الحديد المائى.
النظام البللورى	السداسي	المكعب	المعينى القائم ، وقيل إنه يكون متبلور أو غير متبلور وفي الغالب يكون متبلور.
الصلادة	6.5 - 5.5	6.5 - 5.5	5.5 - 4
الأستخدام	خامات هامة تستخدم في صناعة الحديد.		

ثامناً : المعادن السيليكاتية

وجه المقارنة	معادن الميكا	
	المسكوفيت *Muscovite*	البيوتيت *Biotite*
التركيب الكيميائى	يحتوي بشكل أساسي علي البوتاسيوم والألمونيوم ، ويطلق علي المسكوفيت الميكا البيضاء.	يحتوي بشكل أساسي علي البوتاسيوم والماغنسيوم ، ويطلق علي البيوتيت الميكا السوداء.
النظام البللورى	أحادى الميل	أحادى الميل
الصلادة	*2.5 - 2*	*3 - 2.5*
الأستخدام	يستخدم في صناعة الخزف والصينى.	

وجه المقارنة	معادن الفلسبارات		
	الأورتوكليز *Orthoclase*	الالبيت *Albite*	الكوارتز *Quartz*
التركيب الكيميائى	$KAlSi_3O_8$	$NaAlSi_3O_8$	SiO_2 ، ويطلق عليه إسم المرو.
النظام البللورى	أحادى الميل	ثلاثى الميل	عند درجة حرارة أقل من *573* درجة مئوية يتبلور في فصيلة الثلاثي ، وعند درجة حرارة أعلي من *573* درجة مئوية يتبلور في فصيلة السداسي.
الصلادة	*6*	*6.5 - 6*	*7*
الأستخدام	يستخدم في صناعة الخزف والصينى.		الأنواع ذات الألوان الجذابة تستخدم في صناعة الأحجار الكريمة مثل الجمشت بينما الأنواع النقية الشفافة تستخدم في صناعة الأجهزة البصرية والكهربائية.

صخور القشرة الأرضية

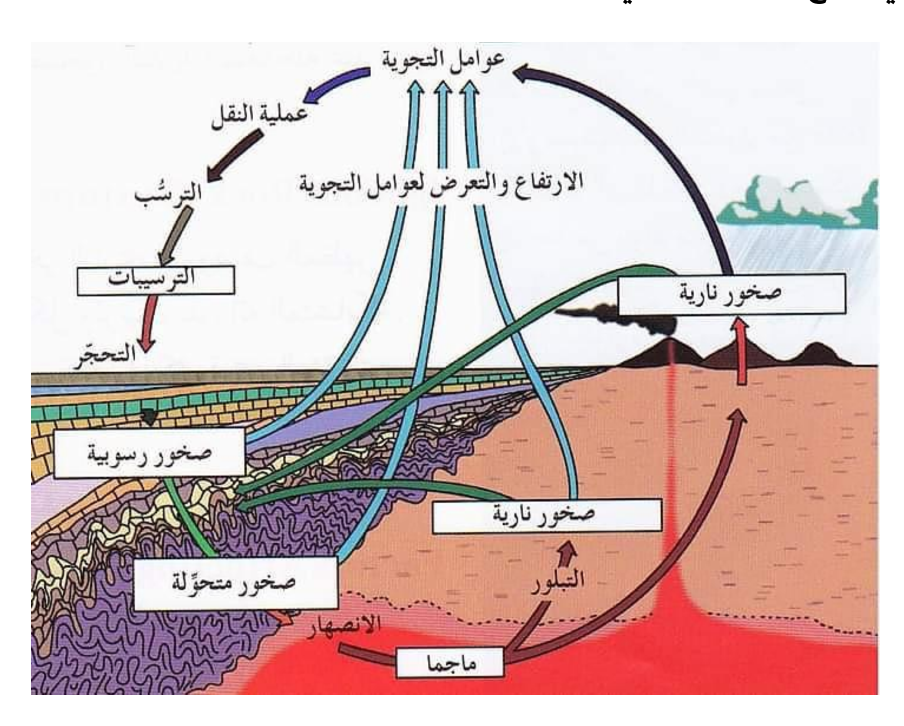
الآرض التي خلقها الله وجعلها ممهدة لنمشي عليها تتكون من الصخور ، وأغلب هذه الصخور نشأت منذ ملايين السنين ، وتوجد الصخور في كل مكان في القشرة الآرضية ، ولكن ما هي أنواع الصخور وما الإختلاف بينهما وكيف نميز بين كل نوع والأخر ، وقبل أن نتحدث عن أنواع الصخور ، لأبد من معرفة الصخر نفسه ، فالصخر عبارة عن خليط من معادن مختلفة ، وقمنا بذكر أن المعدن هو الوحدة البنائية التي يتكون منها جميع صخور القشرة الآرضية ، وربما كنت تعتقد أن الصخرة تتكون من الرمل فقط ، ولكن حتي تلك الحبيبات الصغيرة من الرمال تتكون من معادن ، ويمكن أعتبار حبة الرمل صخرة إذا نظرت إليها بإستخدام عدسة مكبرة.

دورة الصخور

نتيجة قوة الطاقة المحبوسة تحت سطح الآرض تبدأ الماجما بتكسير مناطق الضعف في القشرة الآرضية إلي أن تخزن في القشرة الآرضية في مكان يُعرف بـ خزان الماجما ، وبعد صعود الماجما إلي سطح الآرض يتغير إسمها إلي اللافا ويحدث لها تبريد مكونه جسم صلب يُعرف بالصخر الناري ، ثم تبدأ عوامل التجوية والتعرية مثل الأمطار والرياح بتكسير هذا الجسم الصلب إلي فتات صخري ، ثم نقل هذا الفتات من مكانه الأصلي إلي مكان أخر بواسطة عوامل النقل المختلفة ، وعندما تقل سرعة نقل هذا الفتات يترسب في الأحواض الترسيبية.

ونتيجة الضغط الناتج من ترسيب هذه الرواسب فوق بعضها البعض في الأحواض الترسيبية يحدث لها تصلب أو تصخر وتتحول هذه الرواسب إلي صخر رسوبي ، ونتيجة إرتفاع درجة الحرارة تحت سطح الآرض وزيادة الضغط علي الصخر الرسوبي يتحول الصخر الرسوبي إلي صخر متحول ، وبواسطة عملية الصهارة ينصهر الصخر المتحول ويتحول إلي ماجما ... وهكذا تستمر الدورة الصخرية.

ومما سبق ذكره يُمكن تقسيم الصخور في الطبيعة إلي ثلاث أنواع علي أساس طريقة تـكوينها وهي الصخور النارية والرسوبية والمتحولة ، ومع مرور الزمن يُمكن تحويل أي نوع من هذه الصخور إلي نوع أخر ، وهذا التحول التدريجي من نوع لأخر يُسمي (دورة الصخور) ، والشكل التالي يوضح دورة الصخور في الطبيعية.



الفرق بين الماجما واللافا

الماجما (Magma) عبارة عن الصهارة الموجودة تحت سطح الآرض التي يُصاحبها العديد من الغازات التي تلعب دوراً كبير في حدوث الإنفجار البركاني في الوقت الذي تخرج فيه الصهارة من باطن الآرض ، بينما اللافا (Lava) عبارة عن الصهارة ولكن حينما تخرج فوق سطح الآرض ، مع ملاحظة أن درجة حرارة الماجما عندما صعدت علي سطح الآرض 1200 درجة مئوية.

أولاً : الصخور النارية *Igneous Rocks*

تعتبر الصخور النارية أقدم صخور القشرة الآرضية ؛ لذلك يطلق علي الصخور النارية إسم (أم الصخور) وهي التي تـكونت نتيجة تبريد الصهارة ، وتوجد علي هيئة كتل صلبة كبيرة الحجم غير مسامية ، كما أنه يستحيل وجود الحفريات فيها بسبب درجة حرارة الصهارة العالية التي تعمل علي تاكل أي جسم سواء رخو أو صلب علي سطح الآرض ، وقُسمت الصخور النارية إلي ثلاث أنواع :-

وجه المقارنة	الصخور السطحية *Extrusive*	الصخور الجوفية *Intrusive*	الصخور المتداخلة *Hypabbysal*
التعريف	عبارة عن الصخور التي تـكونت نتيجة تبريد اللافا فوق سطح الآرض.	عبارة عن الصخور التي تـكونت نتيجة تبريد الماجما تحت سطح الآرض.	عبارة عن الصخور التي تـكونت بين الصخور السطحية والصخور الجوفية.
التبريد	سريع	بطيء	متوسط
النسيج	زجاجي أو دقيق ويطلق علي النسيج الذى تتميز حبيباته بالنعومة وتم فيها التبريد بسرعة بالنسيج الافانيتك *Aphantic Texture*	خشن ويطلق علي النسيج الذى تتميز حبيباته بالخشونة وتم فيها التبريد ببطء بالنسيج الافانيرتيك *Phaniritic Texture*	بورفيرى *Porphyritic*
حجم الحبيبات	صغيرة جداً وناعمة ولا ترى بالعين المجردة.	كبيرة جداً وخشنة وترى بالعين المجردة.	حبيبات معدنية كبيرة وحولها حبيبات معدنية دقيقة.
أمثلة	كوماتيت *Komatite* البازلت *Basalt* الأنديزيت *Andesite* الرايوليت *Rhyolite*	بريدوتيت *Peridotite* الجابرو *Gabbro* دايورايت *Diorite* الجرانيت *Granite* التونالايت *Tonalite*	دوليرايت *Dolorite*

حجم المعادن المكونة للصخور النارية

يعتمد حجم المكونات المعدنية للصخر علي الزمن المتاح للتبريد ببطء وتنمو مكونه البللورات ، وبالتالي صخور الجرانيت والجابرو وهما من الصخور النارية الجوفية ، أي يتكونا تحت سطح الآرض والتبريد تم ببطء وهذا يكسب الصخور نسيج خشن ذو حبيبات كبيرة ، ونجد العكس في حالة الصخور البركانية السطحية التي بردت بسرعة ولم يكن هناك فرصة لنمو بللوراتها فأعطت نسيج دقيق الحبيبات أو نسيج زجاجي ، وفي بعض أنواع الصخور المتكونة علي أعماق من السطح قد تجد النسيجين متواجدين أي حبيبات معدنية كبيرة وحولها حبيبات معدنية دقيقة فيُسمي هذا النسيج بورفيري.

التركيب الكيميائي للصخور النارية

يتوقف التركيب الكيميائي للصخور النارية علي نسبة السيليكا في الصخر ، حيثُ صنف العالم بوين الصخور النارية أعتماداً علي نسبة السيليكا الموجودة في الصهارة ، ويتحكم التركيب الكيميائي للصخور النارية ومحتوياتها المعدنية ومعدل التبريد في حجم الحبيبات والنسيج ، وعلي هذا يمكن القول بأنه يُمكن معرفة التركيب الكيميائي بـ لون الصخر ، فاللون الفاتح يدل علي أن الصهارة كانت غنية بعناصر السيليكون والألومنيوم والبوتاسيوم والصوديوم مثل صخر الجرانيت ، أما اللون الغامق يدل علي أن الصهارة كانت غنية بعناصر الحديد والماغنسيوم والكالسيوم مثل صخر البازلت.

تصنيف الصخور النارية أعتماداً علي نسبة السيليكا

- الصخور النارية الحامضية Felsic
  - ✓ نسبة السيليكا فيها أكثر من (63 %) ومن أشهر أمثلة هذا النوع صخر الجرانيت.
- الصخور النارية المتوسطة Intermediate
  - ✓ نسبة السيليكا فيها تتراوح من (52 - 63 %) ومن أشهر أمثلة هذا النوع صخر الدايورايت.
- الصخور النارية القاعدية Mafic
  - ✓ نسبة السيليكا فيها تتراوح من (45 - 52 %) ومن أشهر أمثلة هذا النوع صخر البازلت.
- الصخور النارية الفوق قاعدية Ultra Mafic
  - ✓ نسبة السيليكا فيها أقل من (45 %) ومن أشهر أمثلة هذا النوع صخر البريدوتيت.

سلسلة تفاعل بوين Bowen's Reaction Series

- السلسلة المتصلة Continues Series : وهي التي تضم مجموعة معادن البلاجيوكليز والتي تتغير تدريجياً في تركيبها الكيميائي ، فيتحول من بلاجيوكليز غني بالكالسيوم إلي بلاجيوكليز غني بالصوديوم وذلك مع إنخفاض درجة الحرارة ، وسُمي هذا الجزء بالسلسلة المتصلة ؛ لأن مجموعة المعادن الموجودة فيها تنتمي إلي مجموعة معدنية واحدة وهي مجموعة البلاجيوكليز.

- السلسلة غير المتصلة Discontinues Series : وهي التي تضم مجموعات معادن الاوليفين والبيروكسين والامفيبول والبيوتيت ، ولأحظ العالم بوين أن كل مجموعة من هذه المجموعات تضم تحتها عدد من المعادن بعكس السلسلة المتصلة التي كانت معادنها من أول السلسلة إلي أخرها تنتمي إلي مجموعة معدنية واحدة.

<table>
<tr><th>سلسلة تفاعل بوين</th><th colspan="2">أنواع الصخور النارية</th></tr>
<tr><td rowspan="3">Ca\Fe\Mg
الاوليفين
Ca-Plagioclase
البيروكسين</td><td colspan="2">الصخور النارية الفوق قاعدية</td></tr>
<tr><td>جوفي</td><td>سطحي</td></tr>
<tr><td>البريدوتيت</td><td>كوماتيت</td></tr>
<tr><td rowspan="3">الامفيبول
البيوتيت</td><td colspan="2">الصخور النارية القاعدية</td></tr>
<tr><td>جوفي</td><td>سطحي</td></tr>
<tr><td>الجابرو</td><td>البازلت</td></tr>
<tr><td rowspan="3">Na-Plagioclase</td><td colspan="2">الصخور النارية المتوسطة</td></tr>
<tr><td>جوفي</td><td>سطحي</td></tr>
<tr><td>الدايوريت</td><td>الأنديزيت</td></tr>
<tr><td rowspan="3">الفلسبار البوتاسي
المسكوفيت
الكوارتز
(Si, Na, K, Al)</td><td colspan="2">الصخور النارية الحامضية</td></tr>
<tr><td>جوفي</td><td>سطحي</td></tr>
<tr><td>الجرانيت
التونالايت
الجرانوديورايت</td><td>الرايوليت</td></tr>
</table>

لأحظ العالم بوين أنه كلما إنخفضت درجة الحرارة يتغير التركيب الكيميائي للصهارة من التركيب القاعدي (الغني بعناصر الكالسيوم والماغنسيوم والحديد) إلي التركيب الحامضي (الغني بعناصر السيليكون والصوديوم والبوتاسيوم) ، وبسبب هذا التغيير الكيميائي تختلف الوان الصخور النارية عن بعضها البعض ، فنجد أن صخور التركيب القاعدي تتميز باللون الغامق جداً لوجود عناصر الحديد والماغنسيوم والكالسيوم بنسبة كبيرة جداً في الصخر مثل صخور البازلت والجابرو ، بينما صخور التركيب الحامضي تتميز باللون الفاتح لقلة نسبة عناصر الحديد والماغنسيوم والكالسيوم وزيادة تركيز معدن الكوارتز[3] في الصخر مثل صخور الجرانيت والرايوليت.

[3] وجود معدن الكوارتز في الصخر يدل علي وجود السيليكا بنسبة عالية ، وعدم وجوده في الصخر يدل علي إنخفاض نسبة السيليكا.

<table dir="rtl">
<tr><th>لزوجة الماجما</th><th>الكثافة</th><th>درجة الحرارة</th><th>اللون</th><th>نوع الماجما</th><th>نسبة السيليكا</th><th colspan="2">أنواع الصخور النارية</th></tr>
<tr><td rowspan="3">قليلة جداً</td><td rowspan="3">عالية جداً</td><td rowspan="3">1200°C</td><td rowspan="6">الغامق</td><td rowspan="6">قاعدية</td><td rowspan="3">% 45</td><td colspan="2">الصخور النارية الفوق قاعدية</td></tr>
<tr><td>جوفي</td><td>سطحي</td></tr>
<tr><td>البريدوتيت</td><td>كوماتيت</td></tr>
<tr><td rowspan="6">↓</td><td rowspan="6">↓</td><td rowspan="6">↓</td><td rowspan="3">% 52</td><td colspan="2">الصخور النارية القاعدية</td></tr>
<tr><td>جوفي</td><td>سطحي</td></tr>
<tr><td>الجابرو</td><td>البازلت</td></tr>
<tr><td rowspan="3">بين الغامق والفاتح</td><td rowspan="3">متوسطة</td><td rowspan="3">% 63</td><td colspan="2">الصخور النارية المتوسطة</td></tr>
<tr><td>جوفي</td><td>سطحي</td></tr>
<tr><td>الدايوريت</td><td>الأنديزيت</td></tr>
<tr><td rowspan="3">عالية جداً</td><td rowspan="3">قليلة جداً</td><td rowspan="3">650°C</td><td rowspan="3">فاتح / وردي</td><td rowspan="3">حامضية</td><td rowspan="3">تزداد اللاجما</td><td colspan="2">الصخور النارية الحامضية</td></tr>
<tr><td>جوفي</td><td>سطحي</td></tr>
<tr><td>الجرانيت
التونالايت
الجرانوديورايت</td><td>الرايوليت</td></tr>
</table>

أنواع الماجما

- **الماجما القاعدية : تتراوح درجة حرارتها بين (1000 - 1200 درجة مئوية) ، وتحتوي علي نسبة كبيرة من الحديد والماغنسيوم والكالسيوم بالإضافة إلي نسبة منخفضة من البوتاسيوم والصوديوم والسيليكا.**
- **الماجما المتوسطة : تتراوح درجة حرارتها بين (800 - 1000 درجة مئوية) ، وتحتوي علي كمية معتدلة من الحديد والماغنسيوم والكالسيوم و البوتاسيوم والصوديوم والسيليكا.**
- **الماجما الحامضية : تتراوح درجة حرارتها بين (650 - 800 درجة مئوية) ، وتحتوي علي نسبة كبيرة من البوتاسيوم والصوديوم والسيليكا بالإضافة إلي نسبة منخفضة من الحديد والماغنسيوم والكالسيوم.**

الصخور المكافئة Equivalent Rocks

عبارة عن صخور لها نفس التركيب الكيميائي والمعدني ولكن تختلف في مكان النشاة والنسيج وحجم الحبيبات ، فعلي سبيل المثال صخر البازلت له نفس التركيب الكيميائي والمعدني لصخر الجابرو ولكن مختلف عنه في مكان النشاة والنسيج وحجم الحبيبات ، لذلك نجد أن البازلت (سطحي قاعدي ذو نسيج زجاجي) مكافئ لصخر الجابرو (جوفي قاعدي ذو نسيج خشن).

أشكال تواجد الصخور النارية

أولاً : أشكال الصخور النارية تحت سطحية

- باثولث Batholith : يعتبر أكبر الصخور النارية تحت سطحية حجماً ، وتوجد هذه الصخور علي هيئة كتل كبيرة وضخمة تمتد لمئات الكيلومترات ويكون هذا الأمتداد أفقي.
- لوبولث Lopolith : عبارة عن أشكال توجد علي هيئة أطباق أو طية مقعرة.
- لاكولث Lacolith : عبارة عن أشكال توجد علي هيئة قباب أو طية محدبة.
- السدود الأفقية Sills : عبارة عن صخور تتكون نتيجة تبريد الماجما بشكل موازي للطبقات.
- السدود القاطعة Dykes : عبارة عن صخور تتكون نتيحة تبريد الماجما علي هيئة قاطع يقطع الطبقات ، ويتراوح سمك هذه القواطع من عدة سنتيمترات إلي مئات الأمتار.

ثانياً : أشكال الصخور النارية السطحية

- الطفوح البركانية Volcanic Lava : عبارة عن اللافا التي صعدت إلي سطح الآرض عن طريق فوهات البراكين وأنتشرت علي السطح ، ثم بردت بسرعة ولم يكن هناك فرصة لنمو بللوراتها فأعطت نسيج دقيق الحبيبات ، ويتشكل سطحها بأشكال عديدة بعضها يأخذ شكل الحبال أو شكل الوسائد.





- مواد متفتتة : عبارة عن صخور نارية سطحية قد تكون مفككة أو متماسكة ، وتكون مختلطة مع الأبخرة والغازات الخارجة من فوهات البراكين ، وقد تكون هذه المواد قطع صخرية ذات زوايا حادة يطلق عليها البريشيا البركانية ، وقد تكون فتات دقيق جداً مثل الرماد البركاني ، وتوجد هذه المواد في الأصل منتشرة بالقرب من المناطق البركانية ، وقد تنتقل إلي مناطق بعيدة عن البراكين بواسطة المياه الجارية والرياح.

ثانياً : الصخور الرسوبية *Sedimentary Rocks*

تُغطي الصخور الرسوبية حوالي 75 % من صخور القشرة الآرضية ، وحجم الصخور الرسوبية صغير جداً (5 %) مقارنة بحجم الصخور الأخري ، وتعتبر الصخور الرسوبية الوحيدة التي تحتوى علي حفريات ، وتوجد هذه الصخور علي هيئة طبقات ؛ لذلك تظهر الطيات والفوالق بوضوح في الصخور الرسوبية ، وتتميز الصخور الرسوبية بمسامية ونفاذية عالية ؛ لذلك لا يخزن البترول إلا في الصخور الرسوبية وأهمها الحجر الرملي.

أنواع الصخور الرسوبية

أولاً : الصخور الرسوبية الفتاتية Clastic Sedimentary Rocks

عندما يتم تكسير الصخر بواسطة عوامل التعرية إلي فتات الصخري ثم نقل هذا الفتات بواسطة عمليات النقل المختلفة إلي أن تقل سرعة النقل ويتم ترسيبه في مناطق من الآرض منخفضة عما حولها (الأحواض الترسيبية) ، وإذا دفنت هذه الرواسب بالعمق الكافي سوف تتعرض للضغط والحرارة وتصبح متراصة ومتلاحمة فينتج الصخر الرسوبي الفتاتي.

أنواع الصخور الرسوبية الفتاتية ◄ تختلف أنواع الصخور الرسوبية الفتاتية وفقاً لحجم الفتات الصخري المكون لها.

1. **رواسب الحصي Gravel : وهي الرواسب التي يزيد حجمها عن 2 ملم مثل صخور الكونجلوميرات والبريشيا.**

ما الفرق بين الكونجلوميرات والبريشيا ؟!

تتميز صخور البريشيا بحبيبات حصوية ذات زوايا حادة ، والسبب في إتخذها هذا الشكل لأنها لم تنتقل لمسافات كبيرة من مصدر تكوينها ؛ لذلك لم يتم إستدارتها بواسطة عوامل التعرية ، بينما صخور الكونجلوميرات تتميز بحبيبات حصوية عالية الإستدارة ، والسبب في إتخذها هذا الشكل لأنها أنتقلت لمسافات كبيرة من مصدر تكوينها ؛ لذلك تمت الإستدارة بواسطة عوامل التعرية.





2. **رواسب الرمل Sand : وهي الرواسب التي يقع حجم حبيباتها بين (2 ملم - 63 ميكرون) ، ورواسب الرمل يحدث لها تحجر أو تصلب مكونه صخر رسوبي فتاتي وهو الحجر الرملي (Sandstone).**
3. **رواسب الطين Mud : وهي الرواسب التي يقل حجم حبيباتها عن 63 ميكرون ، ورواسب الطين يحدث لها تحجر أو تصلب مكونه صخر رسوبي فتاتي وهو الصخر الطيني (Mudstone) ، ونتيجة زيادة الضغط الواقع علي الصخر الطيني يتحول إلي الطين الصفحي أو الطفل (Shale).**

وتنقسم رواسب الطين حسب حجم حبيباتها إلي :-

- **الطمي أو الغرين Silt : وهي الرواسب التي يقع حجم حبيباتها بين (63 ميكرون - 4 ميكرون) ، وهذه الرواسب يحدث لها تحجر أو تصلب مكونه صخر رسوبي فتاتي وهو الصخر الطمي (Siltstone).**
- **الصلصال Clay : وهي الرواسب التي يقل حجم حبيباتها عن 4 ميكرون ، وهذه الرواسب يحدث لها تحجر أو تصلب مكونه صخر رسوبي فتاتي وهو الصخر الصلصالي (Claystone).**

ثانياً : الصخور الرسوبية الكيميائية Chemical Sedimentary Rocks

تكونت هذه الصخور بفعل ترسيب المواد الذائبة في مياه البحار أو المحيطات ، والمادة الكيميائية المترسبة عبارة عن مركب كيميائي مثل كربونات الكالسيوم والملح والسيليكا ، حيثُ تتشكل هذه المادة عندما يتم تبخير المحلول الذي تذوب فيه ، ثم يحدث لها ترسيب علي هيئة طبقات مكونه صخر رسوبي كيميائي.

ومن أشهر أمثلة الصخور الرسوبية الكيميائية صخور المتبخرات كـ الملح الصخري ، وصخور الكربونات كـ الحجر الجيري الذي يتكون بشكل أساسي من ترسيب كربونات الكالسيوم علي هيئة معدن الكالسيت في مياه البحار أو المحيطات ، وأهم أنواع الحجر الجيري الكيميائي :-

- الترافرتين Travertine : عبارة عن صخر رسوبي مسامي ينتج عن ترسيب كربونات الكالسيوم عندما يبدا الماء بعملية التبخر ، ويتشكل عادةً حول مصاب الينابيع الساخنة ، وتحتوي تكوينات الصخور في الكهوف (الهوابط والصواعد) علي الترافرتين بصورة رئيسية.
- التوفا Tufa : عبارة عن صخر رسوبى مسامي ينتج عن ترسيب كربونات الكالسيوم من مياه الينابيع الساخنة أو غيرها من المياه السطحية التي لديها القدرة علي ترسيب كميات كبيرة من كربونات الكالسيوم.

ثالثاً : الصخور الرسوبية العضوية Organic Sedimentary Rocks

تتكون الصخور الرسوبية العضوية من تراكم بقايا الحيوانات والنباتات كالأسنان والأصداف ، حيثُ أن هذه البقايا تحتوي علي الكالسيوم الذي يتراكم في قاع البحار والمحيطات علي مدار السنين ، وقسم الجيولوجيين هذا النوع من الصخور إلي صخور رسوبية عضوية حيوانية مثل صخر الفوسفات والحجر الجيري العضوي ، وصخور رسوبية عضوية نباتية مثل الفحم الحجري.

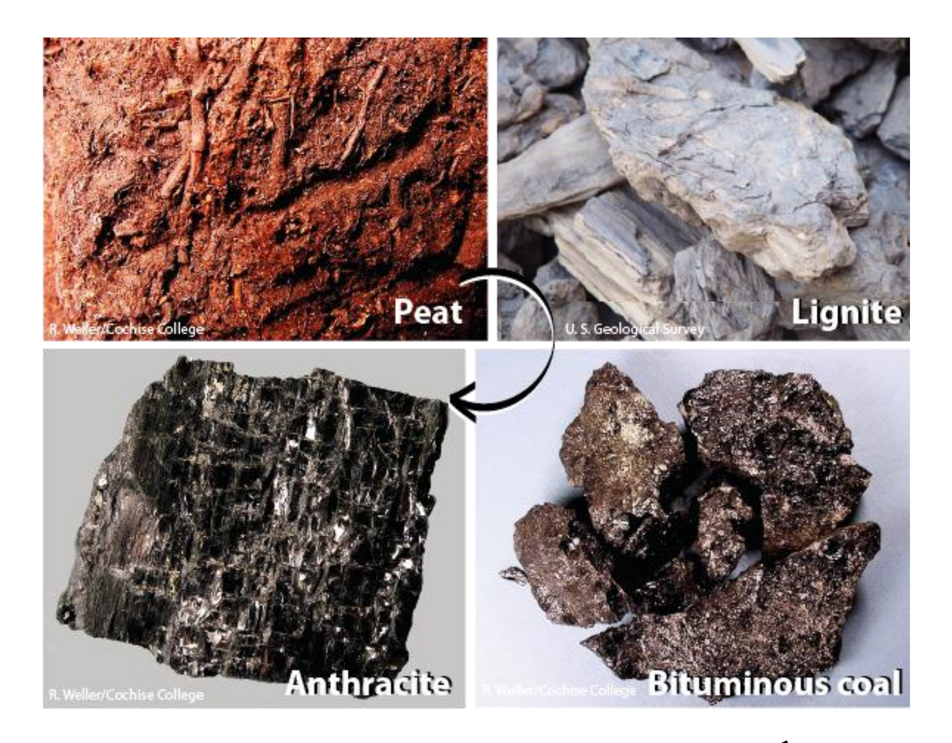
صخور الفوسفات : وهي الصخور التي تتكون من معدن فوسفات الكالسيوم الذي تشكل بسبب تراكم بقايا هياكل الحيوانات البحرية ، أما بالنسبة لصخور الفوسفات فهي تتشكل من فوسفات الكالسيوم وتكون مختلطة مع مواد جيرية.

الصخور الجيرية العضوية : وهي الصخور التي تتكون من تراكم وتحلل بقايا هياكل الحيوانات البحرية ، وفي الغالب تختلط هذه البقايا العضوية بنسب متفاوتة من الرسوبيات الجيرية الكيميائية مثل كربونات الكالسيوم والتي يمكن أن نعتبرها مواد لأحمة لهذه البقايا العضوية.

الفحم الحجري COAL : عبارة عن صخر رسوبي عضوي نباتي لونه أسود أو بني قابل للإحتراق ، ويحتوي علي كمية عالية من الكربون والهيدروكربونات ، ويعد الفحم الحجري من مصادر الطاقة الغير متجددة ؛ لأن تكوينه يستغرق ملايين السنين ، ويتكون الفحم الحجري بعد موت النباتات والسراخس والأشجار الحرشفية ، فعندما يتم دفن النباتات تحت سطح الآرض وعزلها عن الهواء لفترة طويلة في مناطق المستنقعات ، تتحلل المادة العضوية في هذه النباتات بواسطة البكتريا اللاهوائية الموجودة في الآرض مما ينتج عنه ثانى أكسيد الكربون والميثان ، وتستغرق هذه العملية ملايين السنين علي مدي الزمن لأنتاج عدة أمتار من المواد العضوية النباتية المتحللة ، وعندما يتم الدفن علي عمق أكبر تزداد درجة الحرارة والضغط مما يؤدي إلي طرد الماء وثاني أكسيد الكربون والميثان من المادة النباتية ، وبالتالي تصبح المادة النباتية مخصبة تدريجياً بالكربون ويبدا الفحم الحجري في التكوين.

ومع إستمرار عملية الدفن يزداد الضغط ودرجة الحرارة تحت سطح الآرض علي مدي الزمن مما يؤدي إلي تحول المادة النباتية أولاً إلي الخث (Peat) ، ثم تتبعها سلسلة تحولات من أنواع الفحم الحجري :-

- اللجنايت Legnite : يشار إليه أيضاً بالفحم البني ويحتوي علي نسبة تتراوح (25 - 35 %) من الكربون.
- الفحم تحت قاري Sub-Bituminous : يحتوي علي نسبة تتراوح (35 - 45 %) من الكربون.
- الفحم القاري Bituminous : يحتوي علي نسبة تتراوح (45 - 86 %) من الكربون.
- فحم الأنثراسيت Anthracite : يحتوي علي نسبة تتراوح (86 - 97 %) من الكربون.



ثـالثاً : الصخور المتحولة *Metamorphic Rocks*

غالباً ما يُستخدم مصطلح التحول الذي يعتبر مصطلحاً واسع الإنتشار للإشارة إلي التغير من شيء إلي أخر ، وكذلك الحال بالنسبة للصخور المتحولة ، فعلي الرغم من إن الصخور قد تبدو مادة ثابتة إلا أن الصخور النارية والرسوبية قد تتحول إلي نوع جديد من الصخور بفعل الضغط أو درجة الحرارة أو كلاهما ، ومع مرور الوقت ينتج عن عملية التحول صخور أكثر كثافة وصلابة وهي الصخور المتحولة ، وقد تؤدى عملية التحول إلي تغير نوع النسيج أو التركيب المعدني في الصخور الأصلية نظراً لعدم إستقرار المعادن المكونة لتلك الصخور تحت الظروف القاسية من الضغط ودرجة الحرارة.

والصخور المتحولة لا تحتوى علي حفريات ، وقد تحتوي علي حفريات ولكنها مشوهه ، فإذا كانت الصخور متحولة عن أصل ناري يستحيل أحتواها علي الحفريات ، وإذا كانت الصخور متحولة عن أصل رسوبي فيحتمل وجود الحفريات فيها ولكنها مشوهة نتيجة تأثير درجة الحرارة والضغط علي الصخر الرسوبي لكي يتحول إلي صخر متحول.

أنواع الصخور المتحولة

أولاً : الصخور المتحولة غير المتورقة Non-foliated Metamorphic Rocks

توجد هذه الصخور علي هيئة أجسام كتلية ؛ لذلك يطلق عليها إسم الصخور المتحولة الكتلية ، ويطلق علي نسيج هذا النوع من الصخور إسم النسيج الحُبيـبـي ، كما أن عامل التحول في هذه الصخور هو درجة الحرارة فقط ، ويطلق علي هذا النوع من التحول إسم التحول الحراري ، ومن أشهر أمثلة هذا النوع من الصخور :-

- الهورنفلس Hornfels : وهو صخر متحول ناتج عن تحول الصخر الطيني بواسطة درجة الحرارة فقط.
- الكوارتزيت Quartzite : وهو صخر متحول ناتج عن تحول الحجر الرملي بواسطة درجة الحرارة فقط.
- الرخام Marble : وهو صخر متحول ناتج عن تحول الحجر الجيري بواسطة درجة الحرارة فقط.

سـ . لماذا الرخام أشد صلادة من الحجر الجيري بالرغم من أن كلاهما يتركبا من الكالسيت الذي تبلغ صلادته 3 ؟!

جـ . الإجابة بكل بساطة لأن الحجر الجيري صخر رسوبي يتميز بمسامية عالية ، ولكن عندما يتعرض لدرجة حرارة عالية تتلاحم حُبيبات الكالسيت ويتحول إلي صخر الرخام وهو صخر متحول يتميز بعدم المسامية.

ثـــانياً : الصخور المتحولة المتورقة Foliated Metamorphic Rocks

توجد هذه الصخور علي هيئة طبقات ، ويطلق علي نسيج هذا النوع من الصخور إسم النسيج المتورق أو الصفائحي ، كما أن عامل التحول في هذه الصخور هو الضغط ودرجة الحرارة معاً ، ويطلق علي هذا النوع من التحول إسم التحول الديناميكي الحراري أو التحول الإقليمي ، ومن أشهر أمثلة هذا النوع من الصخور :-

- النيس Gneiss : وهو صخر متحول ناتج عن تحول صخر الجرانيت بواسطة الضغط ودرجة الحرارة معاً ، والتركيب المعدني لصخر النيس يماثل التركيب المعدني لصخر الجرانيت إذا كان النيس في هذه الحالة متحولاً عن صخر الجرانيت ويسمي عندئذ النيس الجرانيتي (Granitic Gneiss) ، وكذلك إذا كان النيس متحولاً عن صخر الدايورايت فيسمي عندئذ النيس الدايورايتي (Dioritic Gneiss).
- الشيست Schist : وهو صخر متحول ناتج عن تحول الصخر الطيني بواسطة الضغط ودرجة الحرارة معاً ، والشيست يتميز بنسيجه المتورق الذي يعرف بالنسيج الشيستوزي (Schistose).
- الاردواز Slate : وهو صخر متحول ناتج عن تحول صخر الطفل بواسطة الضغط ودرجة الحرارة معاً ، والاردواز يتميز بنسيجه المتورق الذي يطلق عليه الإنفصام الاردوازي (Slaty Cleavage).

الحفريات

يتعلق علم الحفريات بدراسة بقايا الكائنات الحية النباتية والحيوانية (فقارية أو لافقارية) التي عاشت قديماً علي سطح الآرض وتم حفظها بصورة طبيعية في الصخور الرسوبية ، ويطلق علي هذه البقايا أسم الحفريات ، والحفريات عبارة عن بقايا أو أثار كائن حي ذات أصل عضوي عاش في الأزمنة القديمة وحفظت في صخور القشرة الآرضية بالطرق الطبيعية ، والمقصود بالبقايا هي كل أو بعض أجزاء الكائن الحي ، أما الاثار فهي كل ما يتركه الكائن خلفه من علامات تدل علي سابق وجوده.

وتُشير الحفريات بشكل عام إلي أنماط الحياة في العصور الجيولوجية القديمة غير أنها لا تدل دائماً علي كائنات منقرضة ، حيثُ أن بعضها مازالت أفراده تعيش في الوقت الحالي ، ولكي نطلق علي الحفرية إنها حفرية بالفعل لأبد أن تكون عبارة عن بقايا كائن حي قديم (وقد تم الإتفاق علي أن الحفريات هي الكائنات التي ماتت قبل ظهور الإنسان) ، وأن تُحفظ بالطرق الطبيعية حيثُ أن الموميا عبارة عن بقايا كائن حي ولكنها حُفظت بطريقة صناعية.

الظروف اللازمة للتحفر

ليست جميع الكائنات الحية يمكن أن توجد علي هيئة حفريات إلا إذا تعرضت إلي ظروف مناسبة تحميها من التحلل ، وقليل جداً من الأحياء القديمة هي التي تهيأت لها ظروف التحفر ، وتعزي الظروف التي تسهل عملية التحفر إلي العوامل الأتية :-

أولاً : العوامل البيولوجية ◂ وهي العوامل التي تتعلق بالكائن الحي نفسه من حيث تركيبه وأهم هذه العوامل ما يلي :-

- أن يكون للكائن تركيب هيكلي صلب مما يسهل عملية حفظه.
- قد يكون هذا التركيب الهيكلي متماسكاً مثل صدفة المحار أو مفكك مثل أشواك القنفذيات البحرية.
- قد يتركب الهيكل من مواد جيرية مثل أصداف المحاريات ، أو مواد سيليكاتية مثل الراديولاريا ، أو مواد فوسفاتية مثل عظام الحيوانات الفقارية ، وهذه المواد قد تُحفظ تحت ظروف جيولوجية مناسبة في الصخور.

ثانياً : العوامل الجيولوجية ◂ وأهمها سرعة دفن الكائن بين فتات الصخور بعد موته مباشرةً حيثُ لا يتعرض لعوامل التحلل.

أنواع الحفريات

1. حفرية سحنة Facies Fossil

عبارة عن حفرية تدل علي البيئة التي كان يعيش فيها الكائن قبل موته ، حيثُ يكون مداها الطبقي[4] كبير وأنتشارها الجغرافي محدود ببيئات وظروف خاصة في الترسيب ، ويمكن الإستفادة من هذه النوعية من الحفريات في أستنتاج الظروف البيئية القديمة مثل درجات الحرارة والعمق والملوحة وغيرها.

2. حفرية مرشدة Index Fossil

عبارة عن حفرية تدل علي الزمن ، وتستخدم في تحديد عمر الطبقات بدقة كبيرة ، حيثُ يكون مداها الطبقي قصير (أي ذات مدي زمني قصير) ، وأنتشارها الجغرافي واسع ، حيثُ أن الكائنات أنتشرت علي وجه الآرض في مختلف أنواع البيئات ولم يقتصر تواجدها علي بيئة محددة.

---

[4] المدي الطبقي (الإستراتجرافي) عبارة عن الفترة الزمنية التي عاشت فيها الحفرية منذ ظهورها وحتي إنقراضها.

طرق حفظ الحفريات

أولاً : أثـار الكائنات

- أثر الأقدام وزحف أجسام الكائنات علي التربة والصخور الرخوه ، وكذلك إخراج الحيوانات الذي يمكن من خلاله أستنتاج بعض الصفات الحيوية والتشريحية عن الحيوان نفسه.



- الطابع والقالب { **Mold and Cast** } : الطابع عبارة عن الأثر الذي يتركه الكائن علي الصخور نتيجة سقوط هيكل الكائن بعد موته علي التربة والصخور الرخوه ، بينما القالب عبارة عن المادة المعدنية التي تملأ تجويف هيكل الكائن بعد ذوبانه وتحليله وتأخذ هذه المادة شكل الهيكل الأصلي.





ثانياً : بقايا الكائنات

- **حفظ الهيكل بالكامل : يعتبر العثور علي حفرية متكاملة من الأمور النادرة لأنها تحتاج إلي ظروف خاصة ، فإذا تم عزل الكائن عن بكتيريا التعفن بعد موته مباشرة فمن الممكن حفظ هيكل الكائن كاملاً ، ومن أمثلة ذلك فيل الماموث والحشرات المحفوظة داخل الكهرمان.**





- **حفظ الهيكل الصلب فقط : تعتبر عملية التحفر بالهيكل الصلب فقط هي الأكثر شيوعاً في الصخور الرسوبية المختلفة ، ومن النادر حفظ الهياكل الصلبة دون تغير في مكوناتها القديمة الأصلية التي بناها الكائن الحي أثناء حياته ، أما الغالبية العظمي من الهياكل يتم حفظها بعد حدوث بعض التغيرات في التركيب الأصلي لها ، وعلي هذا فإن الكائن كلما كان أقدم عمراً كلما تعرضت بقاياه في الصخور لعمليات تغيير أكبر في مكوناته.**

أولاً : حفظ الهيكل الأصلي دون تغير ◄ **ومن أمثلة الهياكل الأصلية الصلبة الغير متغيرة ما يلي :-**

- **الهياكل العضوية : تتكون هذه الهياكل من مادة الكيتين غالباً مثل معظم الحشرات والقشريات والنباتات.**
- **الهياكل السيليكاتية : تعتبر مادة السيليكا من أكثر المعادن ثباتاً ، وتوجد علي هيئة غير متبلورة في هياكل بعض الكائنات بسيطة التركيب مثل الأسفنجيات.**
- **الهياكل الجيرية : تعتبر من أكثر الهياكل إنتشاراً في الحيوانات الفقارية ، وغالباً ما تكون متبلورة علي هيئة معدن الكالسيت ، وأحياناً نجدها متبلورة علي هيئة معدن الارجونيت غير أنها لا توجد إلا في الرواسب الحديثة ويقل إنتشارها في الصخور الأقدم لعدم ثبات معدن الارجونيت وتحوله تدريجياً إلي معدن الكالسيت عند درجة حرارة 470 درجة مئوية.**
- **الهياكل الفوسفاتية : تعتبر من أكثر الهياكل شيوعاً في الحيوانات الفقارية التي تتكون من معدن فوسفات الكالسيوم.**

ثانياً : حفظ الهيكل بعد التحول ◄ **في معظم الأحيان يتم إحلال مادة معدنية من الوسط المحيط بالحفرية بدلاً من المادة الأصلية للهيكل الصلب ، ويكون هذا الإحلال كلي أو جزئي علي حسب الفترة الزمنية التي يتأثر خلالها الهيكل ، وتأخذ هذه العملية الأشكال الأتية :-**

- **الكربنة Carbonization : عند موت النبات ودفنه تحت سطح الآرض مع إرتفاع درجة الحرارة يحدث تحرر لعناصر الآكسجين والهيدروجين والنيتروجين ، ويزداد تركيز عنصر الكربون في أنسجة الكائن ويتحول إلي مادة كربونية مثل الفحم.**
- **الإحلال المعدني Replacement : يتم إحلال مادة معدنية بدلاً من المادة الأصلية للهيكل مع أحتفاظ الهيكل بالشكل الأصلي دون تشويه مثل الأشجار المتحجرة التي تنتشر في مناطق عديدة في مصر.**

- التشبع المعدني Petrifaction : تحدث هذه العملية عن طريق إمتلاء مسام الهياكل بمواد معدنية تزيد من صلابة الهيكل.
- إعادة التبلور Recrystallization : في هذه العملية لا يحدث تغير في المادة الأصلية ولكن تتغير أشكال وأحجام وترتيب البلورات ، وتؤدي هذه العملية إلي زيادة صلابة الهياكل كما يحدث من تحول معدن الارجونيت إلي معدن الكالسيت في الأصداف الجيرية.

البيئات الملائمة للتحفر

تعتبر البيئات البحرية هي الأكثر أهمية بالنسبة لدراسة الحفريات نظراً لأن الغالبية العظمي من الحفريات توجد محفوظة في الأنواع المختلفة من الرواسب البحرية ، حيث أن فرصة الحفظ في البيئات البحرية أفضل بكثير منها علي اليابسة ، ذلك بالإضافة إلي وفرة الحيوانات في البحار خاصة في المناطق الشاطئية ، ويمكن تقسيم البيئات البحرية إلي عدة مناطق من حيث عمق المياه وطبيعة إنحدار القاع وهي كما يلى :-

- المنطقة الشاطئية أو الساحلية : تمتد من خط الشاطئ وحتي عمق 50 متر ، وتعتبر من أكثر المناطق التي تتميز بالضوء والاكسجين والغذاء ، ومن ثم وفرة الكائنات النباتية ، وبالتالي تكثر فيها الحيوانات التي تتغذى علي تلك النباتات ، وتحتوي هذه المنطقة علي رواسب الجلاميد والحصي والرمال.
- المنطقة البحرية الضحلة : تمتد من عمق 50 متر وحتي 200 متر ، وتتطابق مع منطقة الرف القاري من حيث إنحدار قاع البحر ، وهي منطقة غنية بالضوء والغذاء ، وتحتوي علي رواسب الحصي والرمال والطين.
- المنطقة البحرية العميقة : تمتد من عمق 200 متر وحتي عمق 2000 متر ، وتغطى منطقة المنحدر القاري الفاصل بين أعماق المحيطات ورصيف القارات ، وتقل فيها الكائنات بشكل ملحوظ ؛ لعدم توافر أسباب الحياة من ضوء وغذاء ، وتحتوى هذه المنطقة علي رواسب طينية دقيقة الحبيبات وبقايا عضوية مثل الدياتومات والفورامنيفرا والراديولاريا.
- منطقة الأعماق السحيقة : تمتد في قيعان المحيطات التي يزيد عمقها عن 2000 متر ، وتندر فيها الكائنات حيثُ لا يتواجد إلا نوعيات معينة من الأسماك ذات صفات خاصة تؤهلها للمعيشة تحت ظروف بيئية شديدة الصعوبة ، وتحتوي علي رواسب بركانية مثل الطين الأحمر وبقايا عضوية مثل الدياتومات والفورامنيفرا.

أهمية الحفريات

قدمت الحفريات ومازالت تقدم الكثير من المعلومات الهامة عن تاريخ الحياة علي سطح الآرض عبر الأزمنة الجيولوجية ، وتتميز الحفريات بالعديد من الخصائص منها أنها وسيلة سريعة ودقيقة وغير مكلفة للإجابة علي العديد من التساؤلات حول تاريخ الآرض وتطورها ، ويمكن تلخيص أهمية الحفريات في النقاط الأتية :-

- تعتبر الحفريات المدخل الحقيقي لدراسة تطور الحياة علي سطح الآرض.
- أستنتاج الظروف البيئية والمناخية التي سادت قديماً.
- تحديد عمر الصخور الرسوبية ومنها يمكننا تحديد عمر الآرض.
- تستخدم الحفريات خاصة الحفريات المرشدة في عملية المضاهاة بين أي تتابع صخري في منطقة ما وتتابع صخري في منطقة أخري وذلك بمقارنة حفريات كُلاً من المنطقتين.

العوامل المؤثرة في القشرة الأرضية

يتأثر سطح الآرض بصفة عامة بفعل عوامل طبيعية ، وهذا التأثير وإن كان ضئيلاً إلا أنه إذا أعطي الوقت الكافي فلأبد وأن يحدث أثر كبير ، فعلي سبيل المثال نهر النيل يُرسب سنوياً ما سمكه ملليمتر واحد من الغرين في وادي النيل ، ومع أن هذا الأثر غير ملحوظ إلا أنه لو علمنا أن متوسط التربة الزراعية المصرية يبلغ حوالي عشرة أمتار فإنه يكون قد لزم لتكوين هذا السمك عشرة آلاف من السنين علي الأقل ، والرياح أيضاً يُلأحظ تأثيرها بتوالي السنين حيثُ يمكن لها أن تنقل كميات ضخمة من الرمال وترسبها في صورة كثبان رملية تغطي معظم الصحراء ، وكذلك فإن هناك البراكين والزلازل التي تشترك ضمن العوامل المؤثرة علي القشرة الآرضية.

ويمكن تقسيم العوامل التي تؤثر علي سطح الآرض إلي نوعان :-

- عـوامل خارجية : وهي عوامل ترجع لتأثير الغلاف الجوي والمائي في القشرة الآرضية ، ومن هذه العوامل الرياح والأمطار والسيول والبحار والمحيطات والأنهار وكذلك أنواع الحياة من حيوانات ونباتات.
- عـوامل داخلية : وهي عوامل ترجع لظروف خاصة في باطن الآرض من حرارة وضغط وما ينتج عنها من زلازل وبراكين وحركات أرضية تؤثر في القشرة الآرضية.

التعرية EROSION

عملية التعرية عبارة عن أثر العوامل الخارجية علي الصخر مما يعمل علي تكسيره إلي فتات صخري ثم نقل هذا الفتات بواسطة العوامل الطبيعية مثل الرياح والماء معرضاً طبقة جديدة لعوامل التعرية ، وتتأثر عملية التعرية بالأنشطة البشرية ، كما أنها تتسبب في نقل التربة أو تآكلها ، وتعد عملية التآكل مشكلة بيئية تؤثر علي نمو النباتات ؛ لأنها قد تحدث للتربة الغنية بالمواد الغذائية المهمة للنباتات ، والتعرية تمر بعدة مراحل تبدا أولاً بعملية التجوية التي تعمل علي تكسير الصخر إلي فتات صخري ، ثم عملية نقل هذا الفتات من مكانه الأصلي إلي مكان أخر ، وتنتهي بعملية الترسيب.

عملية التجوية WEATHERING

التجوية عبارة عن أثر عوامل الجو علي الصخر مما يؤدي إلي تـكسيره ، ويندرج تحت عمليتي التعرية والتجوية عملية تحطيم الصخور وتـكسيرها ثم نقلها من مكانها الأصلي ، إلا أن الفرق الرئيسي بينهما يُكمن في عملية نقل الصخر من موقعه الأصلي ، فالتجوية تقوم بتكسير الصخور دون تحريكها من موقعها الأصلي ، أما التعرية فيتم فيـها نقل الفتات إلي مكان بعيد عن مكانه الأصلي وترسيبه فيه.

أنواع التجوية

التجوية الميكانيكية Mechanical Weathering

التجوية الميكانيكية أو الطبيعية عبارة عن تـكسير الصخور دون تغير في تركيبها الكيميائي ، فمثلاً صخر الجرانيت يتكون من ثلاث معادن أساسية وهي (الكوارتز والفلسبار البوتاسي والميكا) ، فإذا تم تـكسير الجرانيت إلي فتات صخري في حجم الحصي ، فإن كل قطعة من هذا الفتات تتكون من الجرانيت بكل معادنه ، وإذا تم التفتيت لقطع في حجم حبيبات الرمل فكل حبيبة منها هي أحد المعادن المكونة لصخر الجرانيت.

عوامل التجوية الميكانيكية

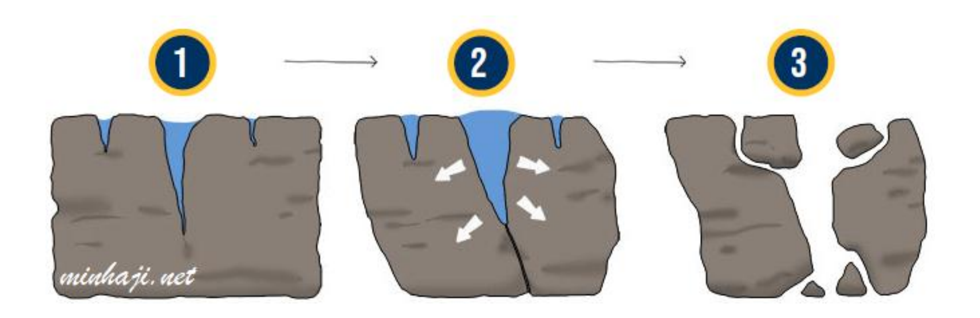
أولاً : العوامل الحياتية

تشمل العوامل الحياتية تأثير النباتات والحيوانات علي الصخور حيثُ تعمل جذور النباتات التي تنتشر وتخترق الصخور إلي تفكك هذه الصخور ، كما أن الحيوانات التي تعيش تحت سطح الآرض تساعد في حفر التربة والمساهمة في جعلها سائبة وقابلة للحركة مع عوامل النقل ، ومن الجدير بالذكر أن الإنسان هو العامل الأكثر نشاطاً الآن في عمليات التجوية ، حيثُ يقوم الإنسان بحفر الآرض لعمل الأنفاق وأساسات المباني وغير ذلك مثل البحث عن الثروات الطبيعية في باطن الآرض.

ثـانياً : العوامل الفيزيائية

- الصقيع Frost : عبارة عن تجمد المياه في شقوق وفواصل الصخور في المناطق الباردة أو الجبلية المرتفعة.

والأساس العلمي في ذلك أن الماء عندما يتجمد يزيد حجمه بمقدار العُشر تقريباً مما يعمل علي توسيع الشق ، ويترتب علي ذلك تـكسير الصخور علي جانبي الشق ، فيتراكم الفتات عند أسفل الجبل مكوناً مظهر جيولوجي يطلق عليه منحدر ركامي.



- التمدد الحراري في المناطق الصحراوية : نتيجة الفرق في درجات الحرارة في المناطق الصحراوية الجافة يحدث للصخر تمدد بسبب درجات الحرارة العالية نهاراً ، وينكمش بسبب درجات الحرارة المنخفضة ليلاً ، ونتيجة هذا التمدد والإنكماش يحدث تضاعف في قوة تماسك الصخر مع مرور الزمن مما يؤدي إلي تفتيته.

التجوية الكيميائية Chemical Weathering

التجوية الكيميائية عبارة عن تكسير الصخور مع تغير تركيبها الكيميائي ، وتغير التركيب الكيميائي يدل علي تحلل معادن الصخر إلي معادن أخري ، وذلك عن طريق فقد أو إضافة عنصر للتركيب المعدني للصخر.

عوامل التجوية الكيميائية

- عملية الإذابة : عبارة عن عملية ذوبان المعادن المكونة للصخور عند سقوط الأمطار عليها ، وليست كل المعادن تذوب مباشرة بمجرد سقوط الأمطار عليها مثل معدن الهاليت ، فهناك بعض المعادن تذوب إذا كانت المياه قلوية مثل معادن السيليكا ، وهناك بعض المعادن تحتاج إلي عوامل مساعدة علي الذوبان مثل وجود ثاني أكسيد الكربون الذي يتحد مع الماء ليكونا حمض الكربونيك المخفف والذى بدوره يحول كربونات الكالسيوم الي بيكربونات الكالسيوم الذي يذوب في الماء.

- عملية الكربنة : عبارة عن تفاعل ثاني أكسيد الكربون المعلق في الهواء مع ماء المطر لينتج عن ذلك حمض الكربونيك المخفف H_2CO_3 (أمطار حمضية) ، وعند سقوط هذه الأمطار الحمضية علي كهف يتكون بشكل أساسي من الحجر الجيري يحدث ذوبان كامل لهذا الكهف.
- عملية الأكسدة : عبارة عن إضافة عنصر الاكسجين إلي التركيب المعدني للصخر ، خاصة الصخور التي تحتوي علي الحديد والماغنسيوم مثل الصخور النارية القاعدية والفوق قاعدية التي تحتوي علي الحديد والماغنسيوم ، فيحدث لها عملية أكسدة وتؤدي في الغالب إلي تكون أكاسيد الحديد.
- عملية الآماهة : عبارة عن إضافة الماء إلي التركيب المعدني ليتكون ما يسمى بالمعادن المائية مثل تحلل معدن الانهيدريت (كبريتات الكالسيوم لامائية) إلي الجبس (كبريتات الكالسيوم المائية).

مثال علي التجوية الكيميائية

من دراسة تحلل صخر الجرانيت ، نجد أن الجرانيت يتكون بشكل أساسي من الكوارتز والميكا والفلسبار البوتاسي ، وهذه المكونات تتفاوت في درجة تأثيرها بالتجوية الكيميائية ، فالكوارتز هو أخر ما يتبلور من المعادن المكونة لصخر الجرانيت وذلك تحت درجات حرارة منخفضة نسبياً ، كما أن تركيبه الكيميائي وصفاته الفيزيائية تجعله ثابتاً لا يتأثر بالتجوية الكيميائية ، أما معدن الفلسبار يتحلل تحت تأثير حامض الكربونيك إلي معدن الكاولينيت (أحد معادن الطين) ، وكذلك الميكا أيضاً تتحول إلي معادن طينية ، وبالتالي يعتبر معدن الكوارتز هو المعدن الوحيد الذي يبقي دون أي تغيير ، بينما تتحول المعادن الأخري إلي مكونات معدنية جديدة أضعف وأقل تماسكاً من المعادن الأصلية.

العمل الجيولوجي للرياح

تُعرف الرياح بأنها عبارة عن كتل هوائية تتحرك بسرعات كبيرة جداً نتيجة لإنتقالها من مناطق الضغط المرتفع إلي مناطق الضغط المنخفض وغالباً تكون حركتها أفقية ، وعمل الرياح يعتبر من النشاطات الجيولوجية للغلاف الجوي ويظهر تأثيرها في المناطق الصحراوية وشبه الصحراوية ، حيثُ يقل سقوط الأمطار ويسود الجفاف مما يساعد علي تفكك رسوبيات القشرة الآرضية وعدم تماسكها ، وهذا يسهل حملها ونقلها بواسطة الرياح ويؤدي هذا النقل إلي حدوث عمليتي التعرية والترسيب.

العمل الهدمي للرياح

- تأثير الرياح علي الصخور الغير متجانسة (المتفاوتة في الصلابة) يؤدي إلي تفتيت الصخور الأقل صلابة بمعدل أسرع من الصخور الأكثر صلابة ، وينتج عن ذلك ظاهرة جيولوجية تُسمى بالنحت المتباين.
- تأثير الرياح عند مرورها علي حصوات غير منتظمة الشكل : عند مرور الرياح بما تحمله من حبيبات الرمال لفترة طويلة علي الحصوات الموجودة في الصحراء ينشأ عن ذلك بري وصقل أحد جوانبها الذي تتعامل حافته مع إتجاه الرياح ، وحين يتغير وضع الحصوة لسبب أو لأخر يتعرض جانب ثاني وثالث لهبوب الرياح المحملة بالرمال فتتكون عدة أوجه تصقلها وتبريها الرياح فينشأ عن ذلك تحول الحصي إلي أشكال عديدة منها مثلثية و رباعية و خماسية.

العمل البنائي للرياح

تعتبر الرياح عوامل نقل هائلة في الطبيعة ، فهي تقوم بنقل كميات كبيرة جداً من الدقائق والحبيبات الرسوبية والغبار ودقائق الرمال إلي مسافات بعيدة تصل إلي بضع آلاف من الكيلومترات عن مكانها الأصلى ، وتترسب هذه الحمولة التي تنقلها الرياح علي هيئة تجمعات ، وعندما تواجه حبيبات الرمل المحمولة عائقاً ما في طريقها أو عندما تقل سرعة الرياح التي تنقلها فإنها تترسب ويتكون ما يعرف بالتجمعات الرملية ، وتأخذ هذه التجمعات أشكالاً عديدة منها ما يتجمع بمساحات محدودة عند شواطئ البحار ، ومنها ما يتجمع بمساحات شاسعة في المناطق الصحراوية ويُسمى بالكثبان الرملية.

الكثبان الرملية Sand Dunes : عبارة عن مرتفع أو حاجز من حبيبات رملية مختلفة الحجم والشكل المترسبة بواسطة الرياح ويصل إرتفاعها من بضعة أمتار إلي مئات الأمتار ، وتأخذ الكثبان الرملية عدة أشكال حيثُ يتوقف الشكل الذي يأخذه الكثيب علي عدة عوامل منها سرعة الرياح وثبات إتجاه الرياح.

أشكال الكثبان الرملية

- كثبان رملية مستطيلة : تكون في نفس إتجاه الرياح وتعرف بالغرود مثل غرد أبو المحاريق الذي يمتد حوالي 300 كم من الشمال الغربي إلي الجنوب الشرقي بين الواحات البحرية وحتي الواحات الخارجة بالصحراء الغربية.
- كثبان رملية هلالية : تعتبر الكثبان الهلالية أكثر أنواع الكثبان إنتشاراً وتأخذ شكل الهلال ، وهي ذات إنحدار بسيط في إتجاه الرياح وإنحدار شديد في الإتجاه المضاد.
- كثبان رملية ساحلية : تتكون من حبيبات جيرية متماسكة مثل الكثبان الممتدة بين الإسكندرية ومطروح ، وتأخذ أيضاً الشكل الهلالي ولكنها ذات إنحدار شديد في إتجاه الرياح وإنحدار بسيط في الإتجاه المضاد.

العمل الجيولوجي للأمطار

العمل الهدمي للأمطار يقسم إلي هدم ميكانيكي وهدم كيميائي.

العمل الميكانيكي : يرجع العمل الميكانيكي للأمطار إلي شدة سقوطها وحركتها فتقوم بتفتيت ونقل الأجزاء الصخرية عندما يُصاحب المطر رياح شديدة ، والظاهرة الجيولوجية التي تُصاحب هذا العمل هي تكوين الأخاديد والجروف مثل الجروف قليلة الإرتفاع التي توجد بين الأخاديد في شبه جزيرة سيناء والتي تنشأ نتيجة نحت الأمطار لأوجه الصخور الجيرية.



العمل الكيميائي : تُنشط عمليتي الأكسدة والكربنة بواسطة مياه الأمطار بما تحمله من الاكسجين (عملية الأكسدة) ، وثاني أكسيد الكربون (عملية الكربنة) حيث تتفاعل مياه الأمطار مع ثاني أكسيد الكربون المعلق في الهواء مما يؤدي إلي إذابة الصخور الجيرية.

العمل الجيولوجي للسيول

تُعرف السيول بأنها عبارة عن إنحدار مياه الأمطار الغزيرة من فوق المرتفعات في صورة مجاري ضيقة تتصل ببعضها مكونة الأخوار مثل سيول جبال البحر الأحمر بالصحراء الشرقية بمصر والتي تصب مياهها في البحر الأحمر ووادي النيل.

العمل الهدمي للسيول : تكتسح السيول كل ما يقابلها من الطين والرمال والحصي والجلاميد الكبيرة مما يساعد علي نحت وتعميق مجري السيل الضيق بمرور الزمن ، ويظهر ذلك واضحاً في الصحراء نظراً لندرة النباتات ، والظاهرة الجيولوجية التي تُصاحب هذا العمل هي تكوين الأخوار.



العمل البنائي للسيول : يحدث هذا العمل عندما تفقد السيول سرعتها بعد خروجها من مخرج الخور ويترسب ما يحمله السيل من فتات صخري ، والظواهر الجيولوجية التي تُصاحب السيول تكوين كلاً من :-

- مخروط السيـل : يحدث نتيجة ترسيب ما يحمله السيل عند فقدان سرعته أثناء خروجه من مخرج الخور علي شكل نصف دائرة مركزها مخرج الخور.
- مروحة السيـل (الدلتا الجافة) : يحدث عندما يكون الترسيب علي شكل مثلث قمته عند مخرج الخور ومتدرج في حجم الرواسب من مخرج الخور حتي قاعدة المثلث (جلاميد ، حصي كبير ، رمال ، طين) علي الترتيب.





البحار والمحيطات SEA AND OCEAN

يُطلق علي كوكب الآرض أسم الكوكب الأزرق لوفرة المياه علي سطحه ، وكما سبق أن الغلاف المائي يُغطي 72 % من مساحة الكرة الآرضية ، ويشمل الغلاف المائي كل المياه الموجودة علي سطح الآرض من محيطات وبحار وبحيرات وأنهار ، ولا يقتصر الغلاف المائي علي المياه السطحية فقط بل أيضاً المياه الجوفية التي تتخلل الصخور المسامية وتتسرب خلال الفجوات والشقوق.

وتغطي البحار والمحيطات حوالي 70 % من سطح الكرة الآرضية ، والبحار والمحيطات لهما أهمية كبيرة فهما يُزودننا بالغذاء وتنظيم المناخ وتولد معظم غاز الآكسجين الذي نتنفسه ، والكثير من الفوائد التي لا غني عنها في حياتنا ، ويمكن ترتيب محيطات العالم من حيث المساحة إلي :-

1. المحيط الهادي Pacific Ocean : يعتبر أكبر المحيطات مساحة ، حيثُ تبلغ مساحته نصف مساحة الغلاف المائي وأكثر من ثلث مساحة سطح الكرة الآرضية ، ويحتوي هذا المحيط علي أعمق نقطة بحرية في العالم وهي المعروفة بإسم خندق ماريانا بالقرب من جزر الفلبين.
2. المحيط الأطلسي Atlantic Ocean : نشأ نتيجة تباعد اللوح القاري الأفريقي مع اللوح القاري الأمريكي الجنوبي.
3. المحيط الهندي Indian Ocean : يعتبر ثالث أكبر المحيطات مساحة ، ونشأ نتيجة تباعد الهند عن باقي قارات جندوانا.
4. المحيط المتجمد الشمالي Arctic Ocean : أصغر المحيطات مساحة.



العمل الهدمي للبحار والمحيطات

يرجع تأثير البحار والمحيطات علي صخور شواطئها إلي الحركة الدائمة لمياهها ، وأهم هذه الحركات ما يلي :-

- حركة الأمواج : عبارة عن حركة أفقية للمياة السطحية نتيجة هبوط الرياح في إتجاه معين ، ويختلف حجم الأمواج في البحر الواحد بإختلاف قوة الرياح التي تسببها ، ويتوقف التأثير الهدمي للأمواج علي قوة وحمولة الأمواج ونوع الصخر الذي تصطدم به الأمواج ، فعند تصادم الأمواج في صخور غير متجانسة ، فإن الأمواج تعمل علي تفتيت الجزء الأقل صلابة بمعدل أسرع من الجزء الأكثر صلابة ، ولمّا كانت الصخور المكونه للشواطئ متفاوتة في الصلابة فان مقاومتها للتاكل بواسطة الأمواج هي أيضاً متفاوتة ، ومن ثم ترى أن الشواطئ متعرجة وغير مستقيمة وتبرز منها الصخور الصلبة ، وهذا ما يُطلق عليه أسم التعرجات الشاطئية.

- حركات المد والجزر: عبارة عن حركات منتظمة تعمل علي أرتفاع منسوب المياه ثم الإنخفاض مرة أخري في كل 12 ساعة و 26 دقيقة ، وحركات المد عبارة عن تقدم البحر وتغطية الماء لصخور الشاطئ مما يؤدي إلي هدم وتفتيت هذه الصخور ، بينما حركات الجزر عبارة عن تراجع البحر مما يؤدي إلي ظهور جزء من القاع ، وأثناء عملية الجزر تقل سرعة الماء مما يؤدي إلي ترسيب ما تم تفتيته.

ترسيب البحار والمحيطات

إلي جانب ما تقوم به البحار والمحيطات كعوامل هدم في الجزء البارز من القشرة الآرضية فإنها تقوم بدور إنشائي كبير في تكوين هذه القشرة ، فهي تعتبر كأحواض ضخمة تتراكم علي قيعانها المواد التي تقوم بهدمها من صخور الشواطئ ، ويختلف شكل ونوع الرواسب البحرية بإختلاف الأعماق التي تتكون عندها هذه الرواسب. " راجع البيئات البحرية "

المياه الجوفية GROUNDWATER

المياه الجوفية عبارة عن المياه التي تتواجد تحت سطح الآرض في مسام الصخور الرسوبية التي لها نفاذية عالية ، وقد تظهر علي سطح الآرض في الأماكن المنخفضة ، وتكونت المياه الجوفية عبر أزمنة جيولوجية مختلفة ، وكان مصدرها في الغالب هو المطر ، حيثُ تتسرب المياه من سطح الآرض إلي داخلها فيما يُعرف بالتغذية ، فكلما كانت التربة مفككة وذات فراغات كبيرة ومسامية عالية ساعدت علي التسرب الأفضل للمياه ، وبالتالي الحصول علي مخزون مياه جوفية جيد مع مرور الزمن.

والمياه الجوفية التي تتسرب خلال طبقات الصخور تكون في نطاق يُعرف بإسم النطاق الهوائي ، وأذا تَعدت هذه المياه حد المنسوب المائي (Water Table) تكون في نطاق يُعرف بإسم نطاق التشبع ، وإذا تقاطع سطح الآرض مع حد المنسوب المائي يؤدي هذا إلي تصاعد المياه علي السطح من خلال عيون مثل العين السخنة وعين حلوان.

ومن الجدير بالذكر أن المياه الجوفية تلعب دوراً هام في نحت الصخور الرسوبية الجيرية وهذه الظاهرة تُسمي الكارست ، وبالتالي يمكن تعريف الكارست بأنه عبارة عن ظاهرة تنتج عن نحت المياه الجوفية للصخور الجيرية.

أنتشار المياه الجوفية وحركـــتها

المياه الجوفية دائمة الحركة في الصخور وأنتشارها في الغالب هو إتجاه البحر ولكنها قد تتغير في حركتها بالإتجاهات التي تحددها التراكيب الجيولوجية التي تمر فيها ، وتتوقف حركة المياه الجوفية وأنتشارها علي عدة عوامل أهمها ما يلي :-

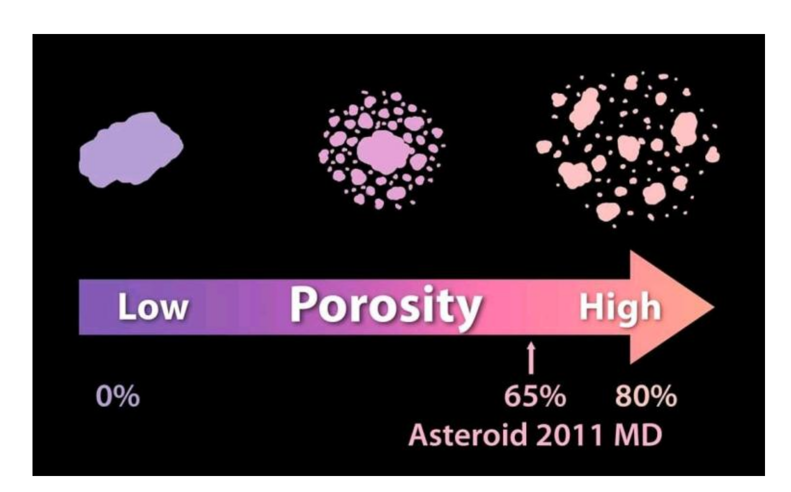
أولاً : مسامية الصخور *Porosity*

يُسمى الصخر مسامي إذا كان يحتوي علي فتحات أو مسام بين حبيباته ، وتُقدر مسامية الصخور في صورة نسبة مئوية بين الحجم الكلي للفراغات الموجودة بين الصخر إلي الحجم الكلي للصخر نفسه.

$$\text{المسامية} = \frac{\text{حجم الفراغات}}{\text{الحجم الكلي}} \times 100$$

وتتوقف درجة مسامية الصخور علي عدة عوامل أهمها ما يلي :-

- شكل الحبيبات : عندما تكون حبيبات الصخر في شكل كرات تامة الأستدارة تكون درجة المسامية أعلي من حالة إذا كانت حبيبات الصخر ذات زوايا مدببة ؛ لأن الأطراف المدببة تدخل في الفراغات الموجودة بين الحبيبات الأخري مما يؤدي إلي تقليل المسامية.
- طريقة ترتيب الحبيبات : ويتوقف ذلك علي مقدار الضغط الذي تعرضت له الصخور بعد ترسيبها نتيجة لتراكم طبقات أخري فوقها ، وهذا يؤثر علي درجة تزاحم الحبيبات ، وتكون مسامية الصخور عالية كلما كانت حبيباتها أقل تزاحماً والعكس صحيح.
- درجة التقارب بين أحجام الحبيبات : كلما كانت أحجام حبيبات الصخر متقاربة كلما زادت مسامية الصخر مما يؤدي إلي سهولة حركة المياه الجوفية والعكس صحيح ، فعلي سبيل المثال ، إذا كانت حبيبات الرمال متساوية في الحجم تقريباً تكون أكثر مسامية من الرمال المكونة من حبيبات مختلفة في الحجم ، فإذا كانت الحبيبات مختلفة في الحجم وبعضها كبير والأخر صغير ، فإن الحبيبات الصغيرة تسد بعض الفراغات التي تتركها الحبيبات الكبيرة وبذلك تقل مسامية الصخر.
- درجة تلاحم الحبيبات : ويرجع ذلك إلي ترسيب رواسب كيميائية بين حبيبات الصخر مما يؤدي إلي إنسداد الفراغات بين الحبيبات وتلاحمها ، فإذا زادت المادة اللاحمة بين الحبيبات قلت مسامية الصخر مما يؤدي إلي إعاقة حركة المياه الجوفية والعكس صحيح.



ثـانياً : نفاذية الصخور *Permeability*

لقد ذكرنا أهمية درجة مسامية الصخور من ناحية قدرتها علي حمل الماء وتخلله فيها ، ولكن الأهم من ذلك في هذا الموضوع هو قدرة الصخور علي إمرار الماء بين حبيباتها والسرعة التي يسري بها الماء في المسام ، وهذا ما نسميه بـ نفاذية الصخور ، والتي يمكن التعبير عنها بأنها مقياس لدرجة السهولة التي تتحرك بها السوائل خلال مسام الصخور.

ويمكن تقسيم الصخور حسب المسامية والنفاذية إلي أربعة أنواع :-

1. صخور مسامية ومنفذة مثل الحجر الرملي والكونجلوميرات ، وهذه الصخور من أهم أنواع الصخور حيثُ تعتبر بمثابة خزانات للمياه الجوفية والبترول أيضاً.
2. صخور مسامية غير منفذة مثل الحجر الطيني.

3. صخور غير مسامية ممرة[5] مثل صخر الجرانيت المشقق.
4. صخور غير مسامية وغير ممرة مثل صخر الكوارتزيت.

ثالثاً : ميـل عام للطبقات السفلية الحاملة للمياه الجوفية

وهذا العامل يفسر وجود الأبار في المناطق الصحراوية بالرغم من قلة تساقط الأمطار في هذه المناطق ، وهذا دليل علي تساقط الأمطار في مناطق أخري بعيدة عن المناطق الصحراوية ، وبسبب وجود ميـل للطبقات السفلية تنحدر المياه من منطقة سقوط الأمطار إلي المنطقة الصحراوية.

أنواع المياه الجوفية

- **مياه جوفية محصورة Confined Aquifer : هي المياه الجوفية التي يتم فصلها عن سطح الآرض عن طريق طبقة محصورة غير ممرة (Impervious Layer) ، وتكون المياه الجوفية في هذه الحالة مضغوطة.**
- **مياه جوفية غير محصورة Unconfined Aquifer : هي المياه التي تملأ طبقة من الصخور بشكل كلي أو جزئي ، وتتعرض هذه الطبقة لسطح الآرض مما قد يؤدي إلي تعرضها لملوثات السطح المختلفة نتيجة التلامس المباشر مع الغلاف الجوي وعدم وجود طبقة خاصة لحماية هذا النوع من المياه الجوفية.**

Unconfined Aquifer
Water Table
Impervious Layer
Confined Aquifer
Impervious Layer

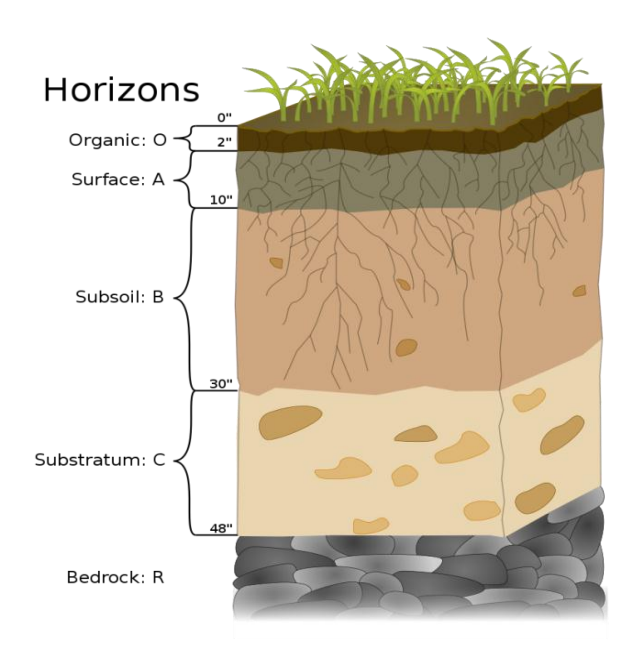
التربة SOIL

التربة عبارة عن خليط من مواد عضوية ومواد معدنية حيثُ أن المواد العضوية جعلتها صالحة للزراعة ، والمواد المعدنية ناتجة عن تفتيت الصخر ، وتنشأ التربة من تفتت الصخور وتأكلها بفعل عوامل التجوية ، وينظر كل شخص إلي التربة حسب إستخدامه لها ، فالمهندس ينظر إليها علي أنها مادة تُبنى عليها ، بينما ينظر عالم التربة إليها علي أنها السطح المعدنى (أو / و) الطبقة العضوية للأرض التي تعرضت لدرجة معينة من التجوية ، والتربة بشكل عام لها أهمية كبيرة من الناحية الزراعية ومدي جودة التربة وصلاحيتها للزراعة ، وكذلك أيضاً من الناحية الهندسية ومدي ملاءمة التربة وخواصها الفيزيائية للإنشاءات الهندسية.

[5] من المعروف أن صخر الجرانيت صخر ناري غير مسامي ، وقد يحتوي هذا الصخر علي الكثير من الشقوق والفواصل التي تعمل كـ ممرات للمياه ، أي أن الماء لا ينفذ من حبيبات الصخر نفسه بل من خلال هذه الشقوق ، وتُسمي الصخور في هذه الحالة بالصخور الممرة Pervious Rocks.

نطاقات التربة الناضجة

1. نطاق سطح التربة (النطاق العلوي) : هو نطاق الترشيح حيثُ يقوم الماء بإزالة الأملاح والمواد الطينية الدقيقة من هذا النطاق وترشيحها إلي أسفل ، ويتميز هذا النطاق بوفرة المواد العضوية التي تجعل التربة صالحة للزراعة.
2. نطاق تحت سطح التربة (النطاق الأوسط) : هو النطاق الذي ترسبت فيه الأملاح والمواد الطينية التي ترشحت من النطاق العلوي ، ويتميز هذا النطاق بإحتوائه علي رواسب ثانوية وغاز الاكسجين.
3. نطاق منطقة فوق الصخر الأصلي (النطاق السفلي) : هو نطاق تجوية الصخر الأصلي حيث يتكون هذا النطاق من مواد صخرية متماسكة أو مفككة تكونت منها التربة.



تصنيف التربة ◂ يمكن تصنيف التربة من حيث النشأة إلي نوعين وهما :-

- التربة الوضعية : عبارة عن التربة التي تتكون في مكانها من نفس الصخر الذي يقع أسفلها ؛ لذلك تتشابه مع الصخر الأصلي في التركيب الكيميائي والمعدني ، وتتميز بتدرج النسيج حتي تصل إلي الصخر الأصلي.
- التربة المنقولة : عبارة عن التربة التي تفككت في مكان ثم إنتقلت إلي مكانها الحالي بواسطة عوامل النقل ؛ لذلك تختلف في التركيب الكيميائي والمعدني عن الصخر الذي يقع أسفلها ، ولا يوجد تدرج في النسيج بل يوجد بها الحصي المستدير ، وهي دائمة التعرض لعوامل التعرية والنقل المختلفة.

التراكيب الجيولوجية

التراكيب الجيولوجية عبارة عن تراكيب أو أشكال تنتج عادة بسبب القوي التكتونية القوية التي تحدث داخل الآرض ، حيثُ تعمل هذه القوي علي طي الصخور وتحطيمها وتكسيرها ، وتشكل صدوع عميقة فيها وتُبني الجبال ، ومن الجدير بالذكر أن التطبيقات المتكررة لهذه القوي تنتج وتخلق صورة جيولوجية معقدة للغاية ، وغالباً ما تتشكل الموارد الطبيعية كالخامات المعدنية والبترول علي طول هذه التراكيب الجيولوجية ، لذلك فإن فهم أصل هذه التراكيب مهم جداً لإكتشاف أحتياطات الموارد غير المتجددة ، ومن خلال ما سبق يمكن تعريف الجيولوجيا التركيبية علي إنها دراسة العمليات التي تؤدي إلي تشكل التراكيب الجيولوجية وكيفية تأثير هذه التراكيب علي صخور القشرة الآرضية خاصة الصخور الرسوبية.

أنواع التراكيب الجيولوجية

أولاً : التراكيب الأولية Primary Structure

التراكيب الأولية عبارة عن التراكيب الجيولوجية التي يتم الحصول عليها أثناء عملية ترسيب الصخر تحت تأثير العوامل الخارجية ، وتُمثل هذه التراكيب الظروف المحلية للبيئة التي تكونت فيها الصخور ، ومن أشهر أمثلة التراكيب الأولية :-

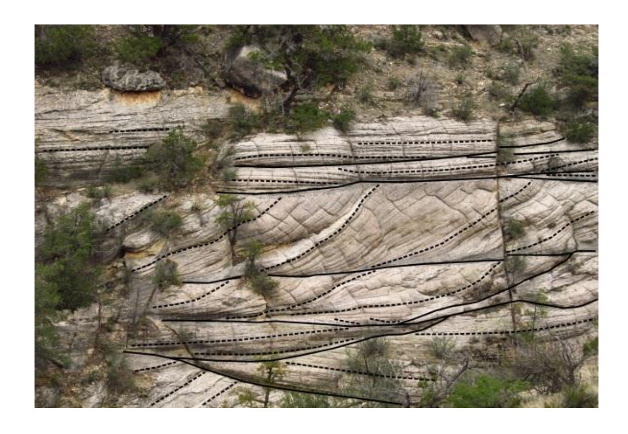
1. **التشققات الطينية Mud Cracks :** عبارة عن جفاف ناتج عن تساقط أشعة الشمس علي الصخر الطيني ، ومع مرور الوقت يفقد الطين الماء الموجود به ثم يحدث تشققات في الصخر الطيني.



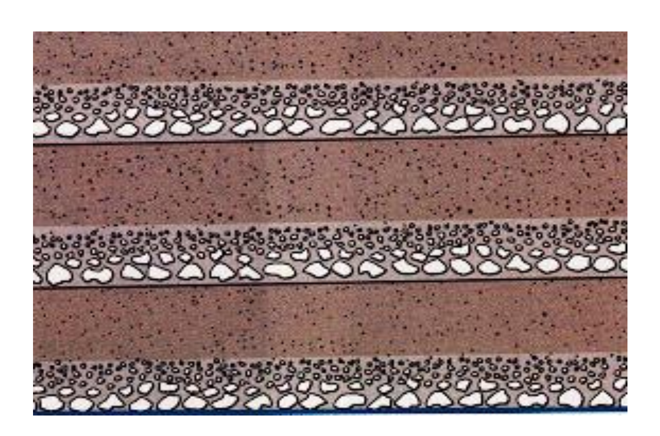
2. **علامات النيم Ripple Marks :** عبارة عن تموجات صغيرة علي سطح الطبقة العلوية تنشأ بفعل الرياح أو التيارات الشاطئية أو الأمواج ، وعلامات النيم لها أهمية تاريخية كبيرة جداً ، حيثُ نستدل منها علي معرفة إتجاهات الرياح والمجاري المائية القديمة.



3. التقاطع الطبقي Cross Bedding : في بعض الحالات تبدو الطبقات علي شكل رقائق مائلة بالنسبة لمستويات التطبق الرئيسية ، وينشأ مثل هذا التركيب بفعل التيارات المائية أو الهوائية.



4. التدرج الطبقي Graded Bedding : عبارة عن تغير في حجم الحبيبات داخل الطبقة الرسوبية الواحدة تدريجياً من الخشن عند أسفل الطبقة إلي الدقيق الناعم في أعلاها ، ويستدل من هذا التركيب علي معرفة ما إذا كانت الطبقة في الوضع العادي أم أنها أنقلبت.



ثانياً : التراكيب الثانوية Secondary Structure

التراكيب الثانوية عبارة عن التراكيب الجيولوجية التي تتكون في الصخور النارية أو الرسوبية أو المتحولة بعد تكون الصخر تحت تأثير العوامل الداخلية ، ومن أشهر أمثلة هذه التراكيب هي الطيات والفوالق والفواصل وأسطح عدم التوافق.

الطيات Folds : عبارة عن إنثناء أو التواء يُصيب صخور القشرة الآرضية خاصة الصخور الرسوبية ، ويحدث هذا الإلتواء نتيجة قوي ضغط جانبي في الصخور ، وتعتبر الطيات ذات أهمية كبيرة جداً حيثُ تُستخدم كمصائد البترول والغاز الطبيعي والمياه الجوفية ، ويمكن أيضاً من خلال الطيات تحديد العلاقة الزمنية بين الصخور من حيث الأقدم والأحدث.

العناصر التركيبية للطية

- المستوي المحوري Axial Plane : عبارة عن مستوي وهمي يُقسم الطية إلي شقين أو جناحين.
- محور الطية Axis : ينتج عن تقاطع المستوي المحوري مع سطح الطبقة.
- جناح الطية Limb : عبارة عن كتلة الصخور التي تميل علي جانبي المستوي المحوري.

أنواع الطيات

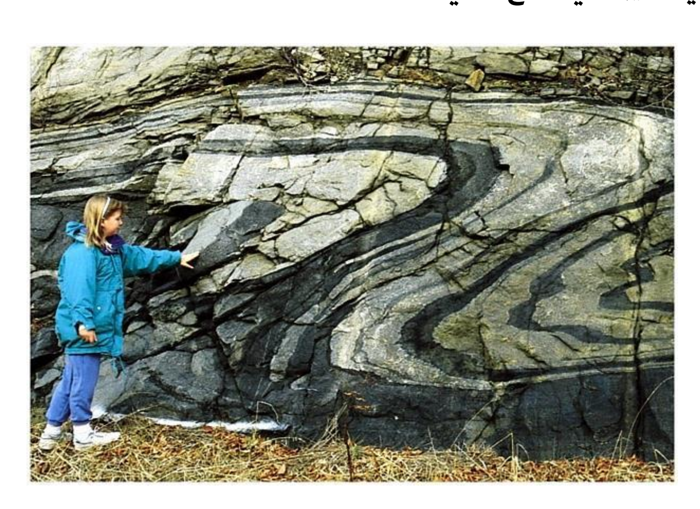
1. الطية المحدبة Anticline Fold : يتم فيها طي الطبقات إلي أعلي ، ومركز الطية هو أقدم الطبقات.
2. الطية المقعرة Syncline Fold : يتم فيها طي الطبقات إلي أسفل ، ومركز الطية هو أحدث الطبقات.
3. الطية أحادية الميل Monoclinic Fold : وفيها تميل الطبقات في إتجاه ميل واحد.





4. الطية القائمة (طية متماثلة Symmetrical Fold) : وفيها يميل طرفي الطية بزوايا متساوية بسبب الضغط الجانبي المتساوي علي الطرفين ، وبالتالي يكون المستوي المحوري راسي.
5. الطية المائلة (طية غير متماثلة Asymmetrical Fold) : وفيها يميل طرفي الطية بزوايا غير متساوية بسبب الضغط الجانبي الغير متساوي علي الطرفين ، وبالتالي يكون المستوي المحوري مائل.
6. الطية المقلوبة Overturned : وفيها يزداد ميل طرفي الطية بسبب ضغط جانبي كبير حتي يصبح طرفي الطية مائلان في نفس الإتجاه ، وبالتالي يكون ميل المستوي المحوري كبير جداً.
7. الطية الراقدة Recumbent : وفيها يكون المستوي المحوري تقريباً في وضع أفقي.





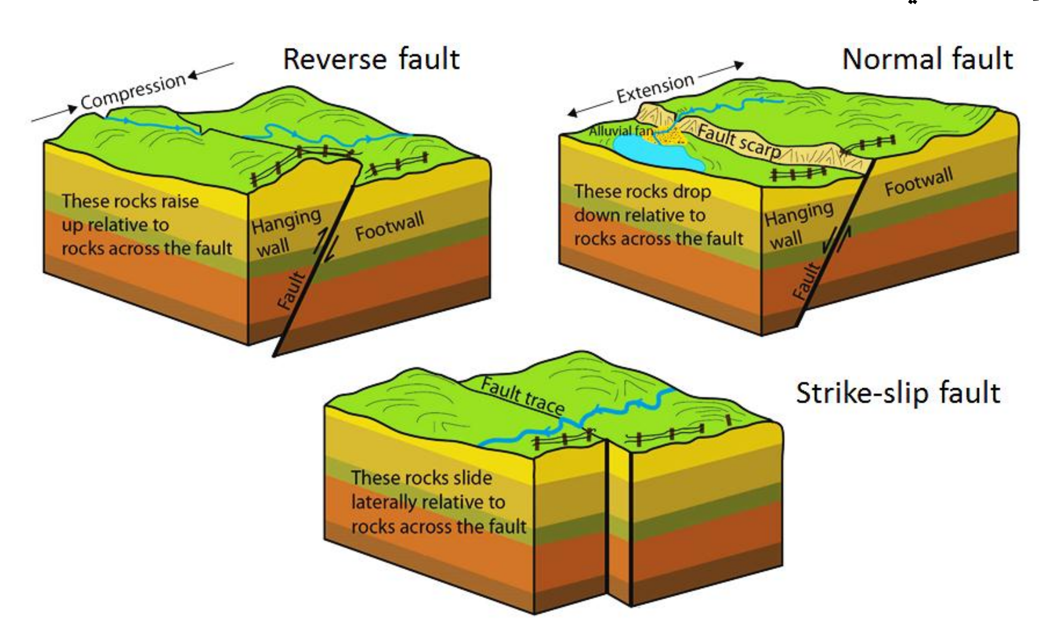
الفوالق FAULTS : عبارة عن كسر في صخور القشرة الآرضية ، ويصاحب هذا الكسر حركة في طبقات الصخور لأعلي أو لأسفل علي جانبي الكسر ، والفوالق تشبه الطيات في أهميتها كمصائد للبترول والغاز الطبيعي والمياه الجوفية.

العناصر التركيبية للفالق

1. مستوي الفالق Fault Plane.
2. صخور الحائط العلوي Hanging Wall.
3. صخور الحائط السفلي Foot Wall.
4. إنزلاق الميل Dip Slip : وهي المسافة التي تتركها الطبقة في إتجاه ميل الفالق وتقاس علي مستوى الفالق نفسه.
5. إنزلاق الإمتداد Strike Slip : وهي المسافة التي تتركها الطبقة في إتجاه الفالق وتقاس علي مستوى الفالق نفسه.
6. رمية الفالق Throw : وهي المسافة الراسية بين وضع الطبقة قبل إنفلاقها وبين وضعها بعد إنزلاقها ، وإذا تحركت الكتلة إلي أسفل في جهة معينة ، فإن الجهة التي هبطت تعتبر رمية سفلية بالنسبة للجهة الأخري ، والأخيرة تعتبر رمية عليا بالنسبة للجهة التي هبطت.

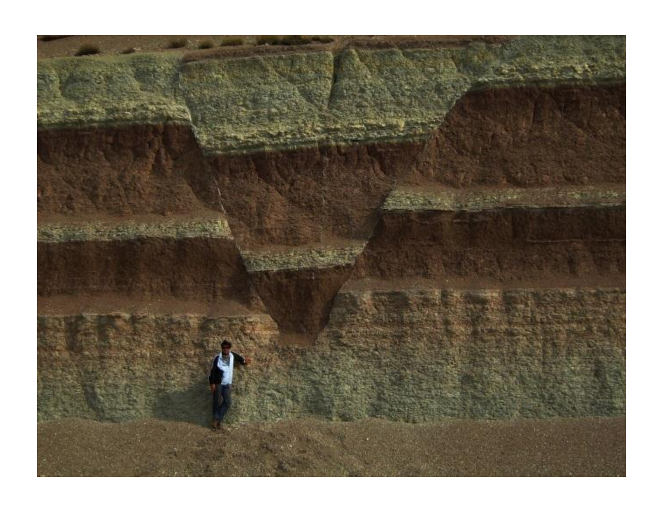
أشهر أنواع الفوالق

1. الفالق العادي Normal Fault : وفيه تكون صخور الحائط العلوي أسفل صخور الحائط السفلي ، وينشأ هذا النوع من الفوالق نتيجة قوي شد (Extension Force) مما يؤدي إلي أتساع القشرة الآرضية.
2. الفالق المعكوس Reverse Fault : وفيه تكون صخور الحائط العلوي أعلي صخور الحائط السفلي ، وينشأ هذا النوع من الفوالق نتيجة قوي ضغط جانبي (Compression Force) مما يؤدي إلي إنكماش القشرة الآرضية.
3. فالق ذو إنزلاق موازي لإمتداده Strike Slip Fault.
4. فالق ذو إنزلاق موازي لميله Dip Slip Fault.



5. **الفوالق الحوضية (خسفي / أخدودي) Graben Faults : عبارة عن مجموعة تتكون من فالقين يحصران فيما بينهما منطقة تهبط فيها الطبقات بالنسبة للناحيتين الخارجتين للفوالق ، أي أن المنطقة الوسطي هي رمية سفلية لكلا الفالقين.**

6. **الفوالق البارزة Horst Faults : عبارة عن مجموعة تتكون من فالقين يحصران فيما بينهما منطقة ترفع فيها الطبقات بالنسبة للناحيتين الخارجتين للفوالق ، أي أن المنطقة الوسطي هي رمية عليا لكلا الفالقين.**

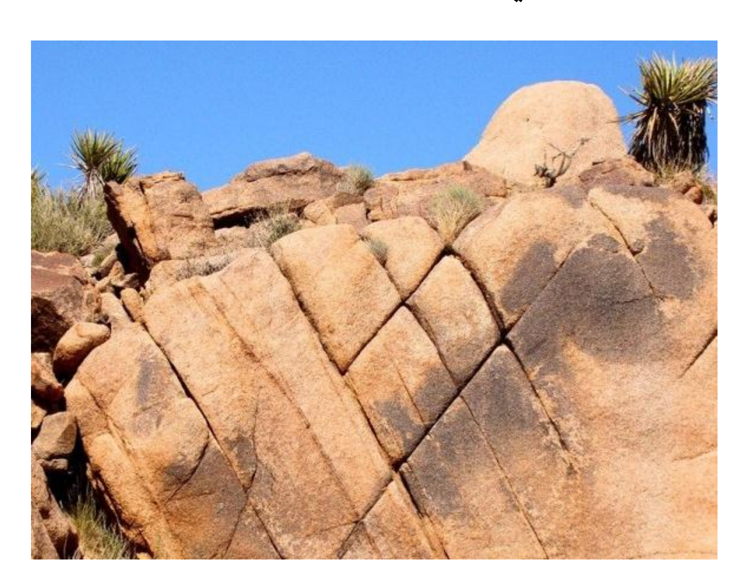




7. **الفوالق السلمية Step Faults : عبارة عن مجموعة من الفوالق متصلة مع بعضها البعض علي هيئة سلم.**

8. **فالق ذو حركة جانبية Wrench Fault : عبارة عن كسر الطبقات وحركتها بشكل جانبي أو أفقي ، لذلك هذا النوع من الفوالق يُصعب فيه تمييز صخور الحائط العلوي عن صخور الحائط السفلي.**

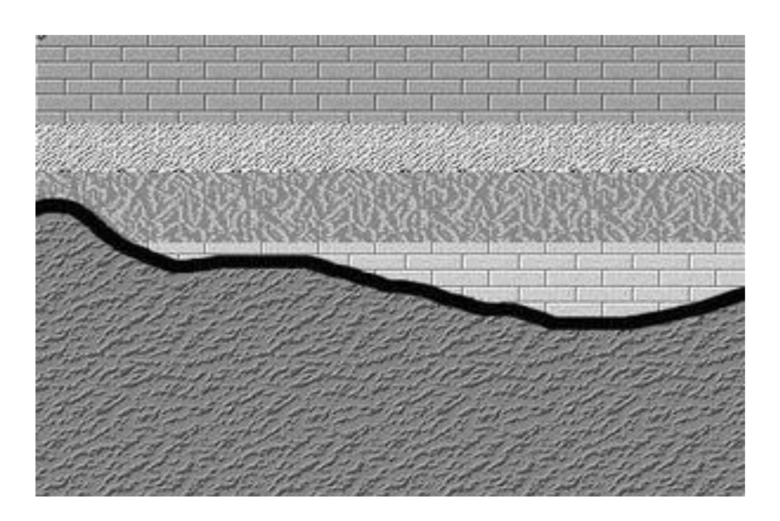
الفواصل Joints : عبارة عن كسر في صخور القشرة الآرضية ولا يُصاحب هذا الكسر حركة في الصخور ، وهذا عكس الفوالق التي يُصاحبها حركة في الصخور علي جانبي الكسر ، والمسافة بين كل فاصل وأخر عدة سنتمترات أو عشرات الأمتار ، ويتوقف ذلك علي نوع وسمك الصخر وأستجابة الصخر للقوي المؤثرة عليه ، ومن أشهر أمثلة الفواصل التشققات الطينية.



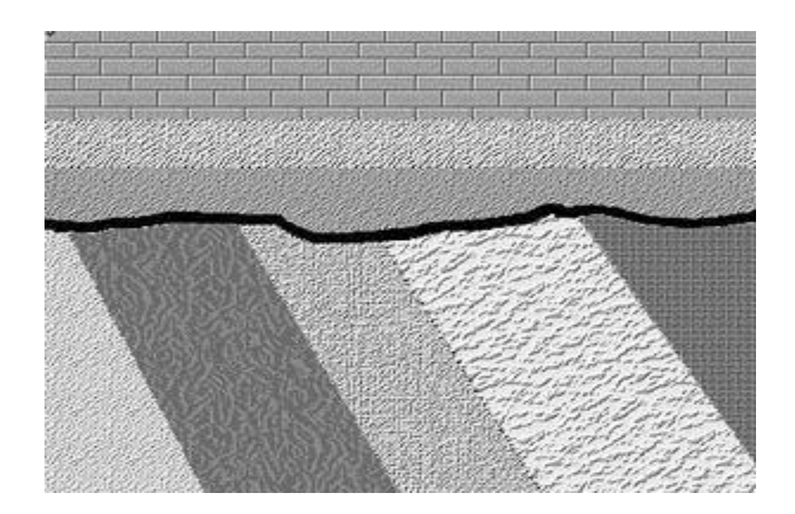
أسطح عدم التوافق UNCONFORMITY SURFACES

قد عرفنا أن الصخور الرسوبية تترسب علي هيئة طبقات أفقية متعاقبة ، كما أن الحديث منها يقع فوق الأقدم عمراً ، ويتم ذلك نتيجة ترسيب مستمر منتظم ، وتوصف هذه الطبقات بأنها (متوافقة) ، ولكن إذا أضطرت الظروف الجيولوجية إلي إنقطاع الترسيب فترة من الزمن فإنه سيؤدي إلي إفتقاد التتابع الطبقي بما يحتويه من سجل جيولوجي ، ويطلق علي هذا التتابع بأنه (عدم توافق) ، ومن هنا يمكن تعريف سطح عدم التوافق بأنه عبارة عن سطح تعرية أو عدم ترسيب واضح ومميز يفصل بين مجموعتين من الصخور ويتكون نتيجة إنقطاع عملية الترسيب فترة من الزمن ، ومن أشهر أنواع أسطح عدم التوافق ما يلي :-

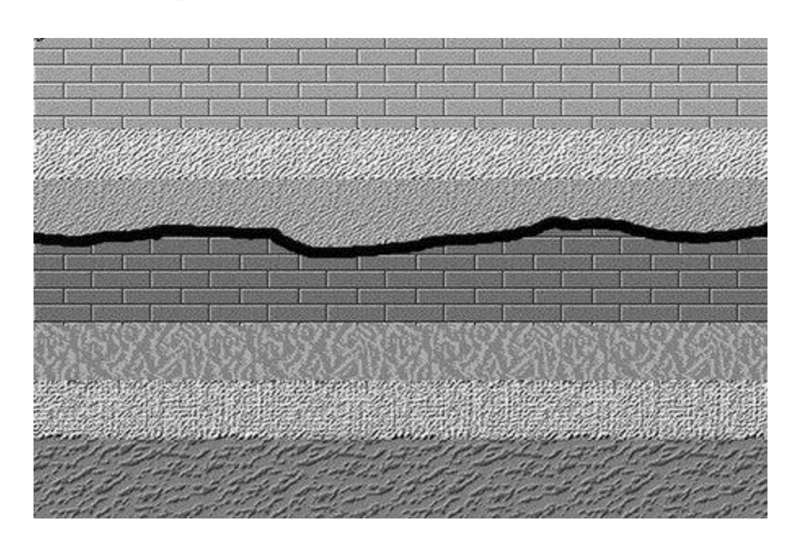
1. سطح عدم التوافق المتباين Nonconformity Surface : عبارة عن سطح عدم توافق يفصل بين مجموعتين مختلفتين من الصخور أحدهما صخور نارية أو صخور متحولة والأخري صخور رسوبية.



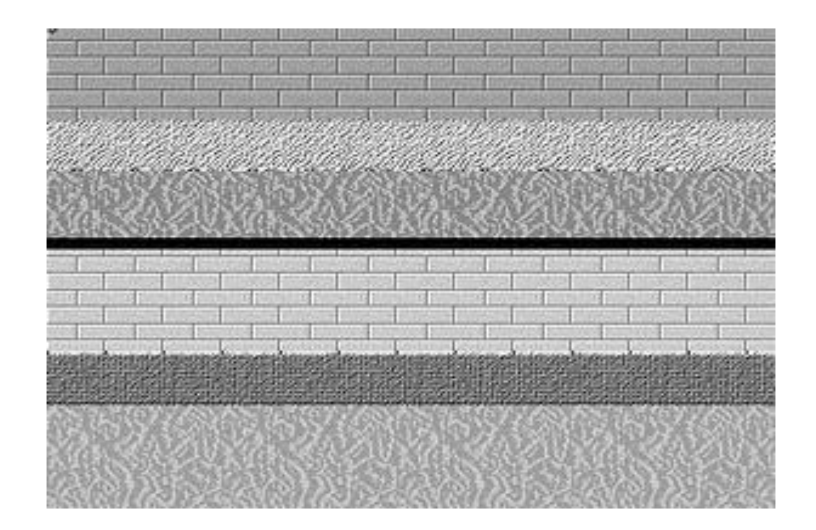
2. سطح عدم التوافق الزاوي Angular Unconformity : عبارة عن سطح عدم توافق يفصل بين مجموعتين من الصخور الرسوبية مختلفين في ميل الطبقات ، حيثُ ترسبت مجموعة من الطبقات في وضع أفقي ثم حدثت حركات تكتونية أدت إلي إمالة الطبقات ، ثم ترسب فوقها مجموعة أخري من الطبقات في وضع أفقي (وقد تميل هذه الطبقات هي أيضاً ، ولكن لكي يُسمي هذا السطح عدم توافق زاوي ، لأبد أن تميل الطبقات العلوية في الإتجاه المضاد للطبقات السفلية).



3. سطح عدم التوافق الإنقطاعي Disconformity : عبارة عن سطح عدم توافق متعرجاً يفصل بين مجموعتين من الصخور الرسوبية كلاهما في وضع أفقي أو لهما نفس درجة الميل في نفس الإتجاه ، وفي هذا النوع من أنواع أسطح عدم التوافق ترسبت مجموعة من الطبقات في وضع أفقي ثم توقف الترسيب فترة من الزمن فأدي ذلك إلي تأكل الطبقات العلوية بسبب عوامل التعرية ، وبسبب هذا التأكل والتكسير يوجد فوق سطح الطبقة الذي حدث فيها التأكل قطع من الحصي المستدير (الكنجولوميرات) ، ثم ترسبت مجموعة من الطبقات الرسوبية في وضع يشبه وضع المجموعة السفلية لها.



4. شبه التوافق Para conformity : يَصعب علي الجيولوجي تمييز هذا النوع من أسطح عدم التوافق في الحقل بمجرد النظر إليه ، ولكن يمكن تميزه بواسطة دراسة وفحص المحتوي الأحفوري الموجود في كل طبقة ؛ لأن طبقاً لعلم الحفريات يدرس في كل زمن جيولوجي كل الحفريات الموجوده به ، ومن خلال فحص الحفرية الدقيقة تحت الميكروسكوب والتعرف عليها نستطيع أن نعرف الزمن الجيولوجي التابع لها.



الكوارث الطبيعية

الكوارث الطبيعية عبارة عن دمار شامل يحدث فجاه من دون سبق معرفة أو تنبأ بحدوثه ، والكوارث الطبيعية حدث من الأحداث التي تحدث دون تدخل الإنسان ولكن بسبب قوة الطبيعة ، وتعد الكوارث الطبيعية من أكبر المخاطر التي تهدد البشرية ومن الممكن أن يتسبب أي زلزال أو فيضان في تأثير مأساوي علي حياة الآلاف من الناس في غضون دقائق ، كما أن الخسائر الناتجة عن الكوارث الطبيعية تجعلنا في حاجة للتعرف علي كيفية الإستعداد لمواجهتها والتقليل من أثارها ، ويمكن تصنيف الكوارث الطبيعية إلي عدة أصناف مختلفة :-

- مخاطر جيولوجية : **تشمل الزلازل والإنفجارات البركانية والفيضانات والإنزلاقات الآرضية.**
- مخاطر الغلاف الجوي : **تشمل الرياح والجفاف والعواصف والأعاصير والبرق.**
- مخاطر طبيعية أخري : **وهذه المخاطر تحدث طبيعياً ، ولكن لا تقع ضمن الصنفين المذكورين أعلاه ، وتشمل الأمراض المعدية أو الوبائية والحرائق الهائلة.**

البراكين VOLCANOES

تعتبر البراكين ظاهرة من الظواهر الطبيعية ، وهي عبارة عن تلال أو جبال تتراوح في الإرتفاع بين مائة متراً وآلاف الأمتار ، كبركان أتنا بجزيرة صقلية الذي يصل إرتفاعه إلي 3500 متراً فوق سطح الآرض ، والبركان ما هو إلا مخرج تمر من خلاله المواد المنصهرة والغازات المحبوسة من باطن الآرض إلي سطحها.

ويتكون البركان من ثلاث أجزاء رئيسية :-

- الفوهة : **عبارة عن الفتحة العلوية التي تخرج منها الصهارة والغازات الساخنة وشظايا الصخور وأيضاً الرماد البركاني ، ويتفاوت إتساع الفوهة من عدة أمتار إلي مئات الأمتار ، وليس من الضروري أن يكون للبركان فوهة واحدة بل قد توجد علي جوانبه عدة فوهات ثانوية.**
- القصبة أو المدخنة أو عنق البركان : **عبارة عن تجويف أسطواني يمتد من جوف الآرض إلي قاع فوهة البركان ، ومن خلال عنق البركان تمر الصهارة أثناء صعودها إلي سطح الآرض.**
- المخروط البركاني : **وهو الذى يتكون منه جسم البركان ويتكون في الغالب من المواد المنصهرة والرماد البركاني بعد تراكمها حول الفوهة.**

أسباب حدوث البراكين

عندما ترتفع درجة الحرارة لدرجة إنصهار الصخور في طبقة الآرض السفلية عند غرفة الصهير ، تتصاعد الصهارة إلي أعلي كلما وجدت مكاناً لها حتي تتجمع في تجويفات أرضية تحت القشرة الآرضية مباشرة ، وبزيادة الضغط علي المناطق الضعيفة يحدث شقوق في القشرة الآرضية فتندفع الصهارة من خلال هذه الشقوق وتخرج إلي سطح الآرض علي هيئة إنفجارات بركانية.

نواتج البراكين

مواد صلبة : أثناء الثوران البركاني (Volcanic Eruption) يقذف البركان مقذوفات صلبة أو مقذوفات سائلة ، والمقذوفات الصلبة قد تكون عبارة عن قطع صخرية ذات زوايا حادة يطلق عليها البريشيا البركانية ، وقد تكون عبارة عن فتات دقيق جداً مثل الرماد البركاني ، ومن الجدير بالذكر أن الرماد البركاني يساعد علي خصوبة التربة الزراعية والتي بدورها أنتجت الغذاء الوفير.

مواد سائلة : وهناك ما يقذفه البركان من مواد سائلة ، وهي عبارة عن اللافا أو الحمم البركانية التي صعدت إلي سطح الآرض عن طريق فوهات البراكين وتنتشر علي جوانب البركان حيث تقل سرعتها تدريجياً حتي تقف تماماً ، وتختلف درجة سيولة اللافا بإختلاف تركيبها الكيميائى ، فاللافا القاعدية أكثر سيولة من اللافا الحامضية ؛ لأن اللافا الحامضية غنية بثانى أكسيد السيليكون الذي يتصلب بسرعة عند ملامسته للهواء ، وقد تنتشر اللافا في مساحات كبيرة أو تتراكم ليصل سمكها إلي مئات الأمتار ، ويتشكل سطحها بأشكال عديدة بعضها يأخذ شكل الحبال أو شكل الوسائد.

الغازات البركانية : بالإضافة إلي ما يخرج من البركان من مواد صلبة وسائلة ، فهناك أيضاً الأبخرة والغازات التي تنبعث من البراكين عند بدء ثورانها أو في وقت سكونها ، وتحظي الغازات البركانية وطرق تكوينها أهمية خاصة ؛ حيثُ يعتقد أنها هي التي كونت مياه البحار والمحيطات وغازات الغلاف الجوي خلال الزمن الجيولوجي ، حيثُ وجد أن بخار الماء هو المكون الرئيسي للغاز البركاني حيث يمثل (70 : 95 %) من مكوناته ، يليه ثاني أكسيد الكربون وثاني أكسيد الكبريت ، بالإضافة إلي كميات ضئيلة من النيتروجين والهيدروجين وأول أكسيد الكربون والكبريت والكلور ، وتتراوح درجة حرارة الغازات البركانية بين (100- 500) درجة مئوية ، وقد يكون لها تأثير مهلك علي ما حولها من مدن عندما تهبط عليها في صورة سحب أو ضباب.

الآثار السلبية للبراكين

تتسبب البراكين في إنفجارات بركانية شديدة والتي بدورها تُشكل تهديد خطير علي الصحة ، فهي تؤدي إلي الفتك بالناس وتدمير العمران وتهجير السكان من بيوتهم ، بالإضافة إلي الحروق والحوادث التي قد تحدث نتيجة الظروف الضبابية التي يُسببها الرماد المنبعث من الإنفجار البركاني.

الآثار الإيجابية للبراكين

علي الرغم من الأذي الكبير الذي تسببه البراكين عند إنفجارها العنيف ، لكن من الممكن أن يؤثر إنفجار البراكين بشكل إيجابي علي البيئة والآرض ، حيثُ تعد المواد البركانية غنية بالمعادن المفيدة للصناعة والزراعة مثل البوتاسيوم والحديد والكبريت ، ومن المعلوم أن الرماد البركاني يساعد علي خصوبة التربة الزراعية والتي بدورها أنتجت الغذاء الوفير ، كما أن البراكين تعد مصدراً هاماً لتكوين بعض المعادن ذات القيمة الإقتصادية مثل الذهب والفضة والنحاس ، غير أنها مسئولة عن تكوين الصخور النارية التي تكونت نتيجة تبريد الصهارة والتي يتكون منها باقي صخور القشرة الآرضية.

الزلازل EARTHQUAKES

تعتبر الزلازل ظاهرة من الظواهر الطبيعية ، وهي عبارة عن طاقة محبوسة في باطن الآرض تخرج علي هيئة هزات أرضية سريعة متلاحقة تنتاب القشرة الآرضية علي فترات زمنية متقطعة ، وتحدث الزلازل في مناطق زلزالية معروفة تعرف بالأحزمة الزلزالية ، ومن الجدير بالذكر أن مصر لا تقع ضمن الأحزمة الزلزالية ، وقد تكون الهزات الآرضية خفيفة جداً وغير ملموسة لا يشعر بها الإنسان ، وقد تكون شديدة تؤدي إلي هدم البيوت وقطع الطرق وإحداث الحرائق ... وغير ذلك.

أمثلة علي الزلازل

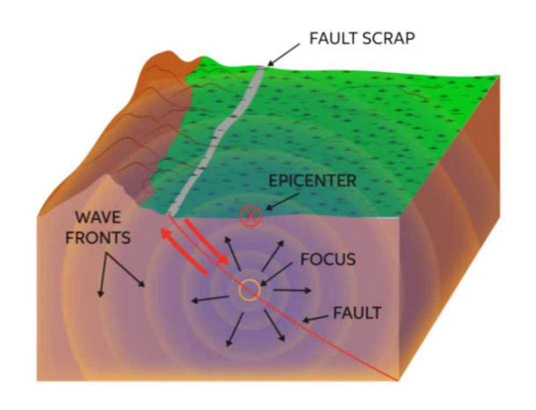
زلزال مصر عام 1992 م الذي أدي إلي تدمير الآلاف من المباني وموت حوالي 600 شخص ، وزلزال تسونامي عام 2004 م الذي حدث في المحيط الهندي وأدي إلي قتل عشرات الآلاف من الأشخاص في الدول المحيطة بهذا المحيط مثل الفلبين وأندونيسيا والهند ، وأيضاً زلزال اليابان عام 2011 م ، وأخيراً زلزال تركيا وسوريا الذي حدث هذا العام 2023.

أسباب حدوث الزلازل

السبب الأول هو البراكين : قد يُصاحب ثوران البركان هزات أرضية تؤثر في المناطق المحيطة به نتيجة حركة المواد المنصهرة والغازات المحبوسة قبل وأثناء خروجها لسطح الآرض ، ويطلق علي هذا النوع من الزلازل إسم الزلازل البركانية ، وليس معني ذلك بالطبع إن كل نشاط بركاني يصاحبه زلزال.

السبب الثاني هو أنفلاق في طبقات القشرة الآرضية ، أي أن حدوث الزلازل يرتبط بحدوث إنكسار مفاجئ في الصخور التي توجد تحت الآرض نتيجة تعرضها لقوي شد أو ضغط مما يؤدي إلي حدوث تصدع والذي يكون سبب في خروج الكثير من الطاقة ، وخروج الكثير من الطاقة يكون سبب في حدوث موجات زلزالية التي تكون سبب في حدوث الهزات الآرضية ، ويطلق علي هذا النوع من الزلازل إسم الزلازل التكتونية ، ويطلق علي المنطقة التي توجد أسفل الآرض عند حدوث هذا الإنكسار إسم بؤرة الزلزال Focus وهي تمثل النقطة التي تبدا عندها حركة الصدع وإنزلاق الكتلتين علي جانبي الصدع ، وتُسمي النقطة التي تقع فوق البؤرة الزلزالية مباشرة ولكن فوق سطح الآرض بالمركز السطحي للزلزال Epicenter ، ويكون الدمار عند المركز السطحي أكبر ما يمكن ويقل هذا الدمار تدريجياً كلما أبتعدنا عن المركز السطحي.

بالإضافة إلي الزلازل البركانية والزلازل التكتونية ، يوجد نوع أخر من الزلازل يطلق عليه إسم الزلازل الأصطناعية ، وهذا النوع من الزلازل ينتج من الأنشطة البشرية ، مثل إستخدام المواد المتفجرة للأغراض الصناعية والتفجيرات النووية وعمليات إستخراج المياه الجوفية والبترول.



أنواع الزلازل حسب العمق

- الزلازل السطحية Shallow Earthquakes : تنشأ علي أعماق تتراوح بين (0 - 70) كم تقريباً.
- الزلازل المتوسطة Intermediate Earthquakes : تنشأ علي أعماق تترواح بين (70 - 300) كم تقريباً.
- الزلازل العميقة Deep Earthquakes : تنشأ علي أعماق كبيرة قد تصل إلي 700 كم تقريباً.

الموجات الزلزالية

يمكن متابعة الموجات الزلزالية ودرجاتها وأنواعها وصورها عن طريق جهاز السيزموجراف ، وهذا الجهاز هو المسؤول عن التنبؤ بالزلازل والقادر علي قراءة هذه الموجات لأن هذا الجهاز يقوم بعرض النتائج عن طريق خط متعرجاً ، ويُسمي هذا الخط المتعرج بسجل الزلزال (Seismogram) ، كما أن جهاز السيزموجراف يقوم بالتفريق بين أنواع الموجات الزلزالية المختلفة عن طريق التعرف علي سرعة كل موجة وعمق تأثيرها وطريقة إندفاعها في الأوساط المختلفة ، وتوضع السيزموجرافات في كل مكان علي سطح الآرض وبمقارنة شدة وزمن وصول الموجات في أماكن مختلفة أستطاع العلماء أستنتاج معلومات قيمة عن باطن الآرض.

وتنقسم الموجات الزلزالية إلي نوعين أساسيين وهما :-

أولاً : الموجات الداخلية Body Waves

عبارة عن الموجات التي تتولد عند بؤرة الزلزال وقت حدوثه ، وتتميز هذه الموجات بقدرتها علي الإنتشار في باطن الآرض بسرعات تختلف بإختلاف الوسط الذي تمر فيه ، وتنقسم الموجات الباطنية إلي نوعين مختلفين :-

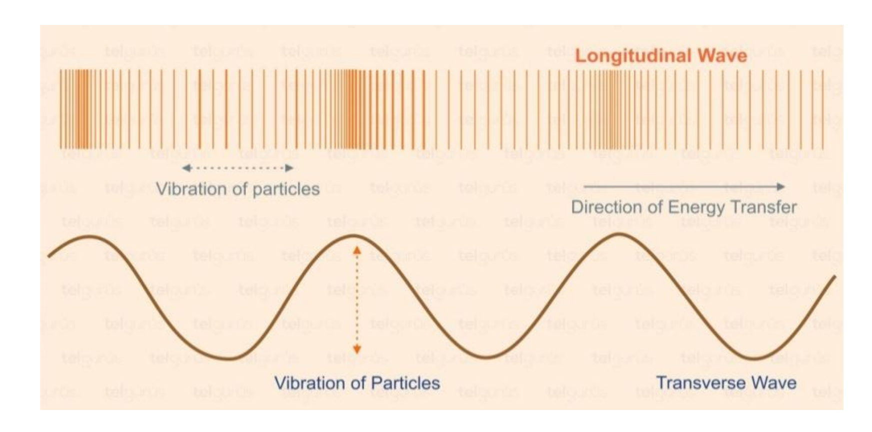
الموجات الطولية / الموجات الأولية (Longitudinal Waves \ Primary Waves \ P-Waves)

عبارة عن الموجات التي تنتشر في الصخور علي هيئة تضاغطات وتخلخلات متتابعة مثلها مثل موجات الصوت في الهواء ، وتهتز فيها جزيئات الوسط (الصخور) في نفس إتجاه الموجة ، وهي أسرع الموجات الزلزالية وأكثرها إنتشاراً ، وتتراوح سرعة هذه الموجات تقريباً بين (5.5 - 13.8) كم في الثانية ، وإذا قمت بمتابعة جهاز السيزموجراف ستجد أن الخط يتعرج بسرعة شديدة بسبب تأثير الموجات التضاغطية علي الجهاز ، وكلما تعمقنا أكثر في باطن الآرض كلما أزدادت سرعتها بصورة ملحوظة وكان تأثيرها أقوي وأكثر عنفاً ، وتسير هذه الموجات في جميع الأوساط سواء كان الوسط السائل في قاع المحيطات أو في الوسط الصلب في الآرض ، ولأحظ العلماء إن هذه الموجات يمكن أن تنتقل أيضاً في الأوساط الغازية.

الموجات المستعرضة / الموجات الثانوية (Transversal Waves \ Secondary Waves \ S-Waves)

عبارة عن الموجات التي تنتشر في الصخور علي هيئة قمم وقيعان مثلها مثل موجات الضوء ، وتهتز فيها جزيئات الوسط في إتجاه عمودي علي إتجاه إنتشار الموجة لذلك سميت بالموجات المستعرضة ، وسرعتها أقل من سرعة الموجات الطولية في الوسط نفسه ولهذا فهي تصل دائماً بعد الموجات الطولية ، وتتراوح سرعة هذه الموجات تقريباً بين (3.2 - 7.4) كم في الثانية ، وتسير هذه الموجات في الأوساط الصلبة فقط ولا تنتشر في الأوساط السائلة والغازية.

صورة توضح الموجات الداخلية (الموجات الطويلة والمستعرضة)



ثـانياً : الموجات السطحية Surface Waves

عبارة عن موجات معقدة تنتشر علي الطبقات السطحية للآرض بعد وصول الموجات الباطنية إلي سطح الآرض ، لذلك تعتبر الموجات السطحية هي أخر الموجات الزلزالية حدوثاً ، وتنتشر الموجات السطحية علي سطح الآرض علي هيئة موجات مستعرضة تُسبب إهتزاز القشرة الآرضية.

شدة وقدر الزلازل

تحديد موقع الزلزال هو أول خطوة لفهم الزلازل ، ولكن لأبد أن يحدد علماء الزلازل قوة الزلزال ، ويتم هذا التحديد بطريقتين إما عن طريق شدة الزلازل وإما عن طريق قدر الزلازل ، وتمدنا كل من هاتين الطريقتين بنتائج هامة عن الزلازل وتأثيرها ، حيث أمكن إستخدام هذه المعلومات عن الزلازل في دراسة محاولة توقع زلازل مستقبلية.

أولاً : شدة الزلازل Intensity

عبارة عن قياس نوعي ووصفي للدمار الناشئ عن زلزال ما ومقدار الضرر البشري والمادي الذي يتركه هذا الزلزال ، وأكثر المقاييس إستخداماً لقياس شدة الزلزال هو مقياس ميركالي ، وقد وضع العالم ميركالي سلماً يتكون من 12 درجة لتصنيف شدة الزلازل ، ويُعبر عن شدة الزلازل حسب مقياس ميركالي بالأرقام اللاتينية متدرجة تصاعدياً بدءاً من الزلازل التي لا يشعر بها الإنسان إلي الزلازل التي تسبب دمار شامل علي النحو الأتي : XII ،XI ، X، IX، VIII، VII، VI، V، IV، III، II، I.

ثـانياً : قدر الزلازل Magnitude

عبارة عن قياس كمي لمقدار الطاقة المنطلقة من زلزال ما ، وأكثر المقاييس إستخداماً لقياس قدر الزلزال هو مقياس ريختر ، وهذا المقياس أكثر دقة من مقياس ميركالي ، وقد وضع العالم ريختر سلماً يتكون من 10 درجات لتصنيف قدر الزلازل بدءاً من الزلازل التي لا يشعر بها الإنسان إلي الزلازل التي تسبب دمار شامل.

الحركــات الآرضية

دلت الدراسات المختلفة علي أن القشرة الآرضية غير ثابتة ويحدث بها حركات مختلفة يظهر أثرها علي مر السنين ، ومن أمثلة ذلك إرتفاع أجزاء من القارات بمقدار يترواح بين أقدام قليلة ومئات الأقدام ، ومن أهم أسباب هذه الحركات الآرضية إنكماش الآرض وتجمد طبقاتها مما يعرضها لجهد كبير تتخلص منه الآرض بالحركات المختلفة ، ومن الحركات الآرضية ما هو سريع ومفاجئ مثل الزلازل ، ومنها ما هو طويل المدي ولا يشعر به الإنسان مثل الحركات البانية للقارات والحركات البانية للجبال.

" والحركات الآرضية عبارة عن عمليات رفع أو خسف تحدث فِي مناطق القشرة الآرضية "

عمليات الرفع عبارة عن إرتفاع للمناطق الأكثر إنخفاضاً مما يؤدي إلي زيادة مساحة اليابس ونقص مساحة المسطح المائي ، بينما عمليات الخسف عبارة عن إنخفاض للمناطق المرتفعة علي سطح الآرض مما يؤدي إلي نقص مساحة اليابس وزيادة مساحة المسطح المائي ، ونتيجة عمليات الرفع والخسف يحدث تغير في نمط الحياة التي سادت وأزدهرت أي تغير ظروف المعيشة للكائنات البرية والبحرية.

أنواع الحركات الآرضية

أولاً : الحركات البانية للقارات

عبارة عن حركات بطيئة راسية تستمر لأزمنة جيولوجية متتالية وتؤثر علي أجزاء كبيرة من القارة أو قاع البحر مما تؤدي إلي إرتفاع أو خسف الصخور الرسوبية دون أن تتعرض لأي تشوه بالطي العنيف أو بالتصدع وإنما تظهر الطبقات علي هيئة طبقات أفقية ، وترجع أهمية هذه الحركات في أنها تلعب دوراً هاماً في توزيع القارات والمحيطات خلال الأزمنة الجيولوجية ، ومن أمثلة هذه الحركات نشاة الاخدود العظيم لنهر كلورادو بأمريكا الشمالية ، حيثُ تظهر الرواسب البحرية علي جداري الاخدود علي إرتفاع 1580 متر فوق سطح الآرض في شكل أفقي كما كانت علي حالتها وقت الترسيب ، وهذا يعني أن مساحة كبيرة من سطح الآرض إرتفعت بقدر كبير دون أن تتعرض لأي تشوه خلال عملية الرفع التي أستمرت بشكل بطئ وتدريجي لفترة زمنية طويلة.

ثــانياً : الحركات البانية للجبال

عبارة عن حركات أفقية وسريعة نسبياً تؤثر علي شكل الطبقات حيث تتعرض الطبقات لعمليات الطي والخسف الشديد بواسطة فوالق ذات ميول قليلة تُسبب الإزاحة الجانبية لعدة كيلومترات ، كما إن هذه الحركات تؤدي إلي تراكم الرواسب فوق بعضها البعض علي نطق ضيقة لتشغل حيزاً محدود بدلاً من إنبساطها علي مساحات شاسعة ، وينتج عن هذه الحركات سلاسل من الجبال ذات أمتداد كبير ، ومن أمثلة هذه الحركات هو تكون سلاسل جبلية في مصر تمتد من قبة المغارة بشمال سيناء وحتي الواحات البحرية بالصحراء الغربية مروراً بمناطق شبراويت وأبو رواش فيما يعرف بنظام القوس السوري.

النظريات التي ساعدت علي فهم تـكـتـونية الآرض

هناك العديد من النظريات التي أفترضت علي مر السنين وكان هدف كل واحدة منها تفسير الحركات التي أدت إلي وجود الآرض في صورتها الحالية ، وبقراءة عامة في هذه النظريات نجد إنها تُبني علي أحد أفتراضين :-

الأفتراض الأول : **النموذج الثابت لوضع الآرض بما عليها من قارات ومحيطات وجبال ، وأعتمد هذا الإفتراض علي الحركات الراسية كمصدر أساسي للتغير في شكل الآرض ، وعلي هذا الإفتراض قامت نظرية القيعان العظمي (Geosynclinal Theory).**

الأفتراض الثاني : **النموذج المتحرك لوضع الآرض ، وبدأ منذ أن أستطاع الإنسان روية التشابه الشديد بين السواحل الغربية لقارة أفريقيا والسواحل الشرقية لقارة أمريكا الجنوبية ، وأعتمد هذا النموذج علي الحركات الأفقية كمصدر أساسي للتغير في شكل الآرض ، وعلي هذ الإفتراض قامت نظرية الإنجراف القاري (الزحزحة القارية) ، ونظرية إتساع قيعان المحيطات ، وتطورهما فيما يعرف الآن بنظرية الألواح التكتونية.**

نظرية الزحزحة القارية *Continental Drift Theory*

تطورت هذه النظرية عندما لأحظ عالم الأرصاد الجوية الفريد فيجنر التشابه الشديد بين تعرجات الساحل الغربي لقارة أفريقيا وأوروبا مع تعرجات الساحل الشرقي لقارة أمريكا الجنوبية والشمالية كما لو كانت قطعة واحدة وتفككت ، ولأحظ أيضاً التشابه بين صخور القارات المختلفة وبقايا الحياة القديمة بها ، وتفترض هذه النظرية إنّ جميع القارات كانت في الأصل عبارة عن كتلة واحدة عملاقة سُميت بانجيا ، وتتكون قارة بانجيا من صخور تتكون من السيليكون والألومنيوم وأختصرت إلي صخور السيال ، وتوجد صخور السيال فوق صخور تتكون من السيليكون والماغنسيوم وأختصرت إلي صخور السيما.

بدات قارة بانجيا في التفكك والإنفصال منذ نهاية العصر البرمي وحتي بداية حقبة الحياة المتوسطة إلي أن أخذت القارات وضعها الحالي خلال زمن البلستوسين ، وإنفصلت قارة بانجيا في بداية الأمر إلي قارتين كبيرتين ، وهما قارة لوراسيا وهي كانت النصف الشمالي من الكرة الآرضية ، ومع إستمرار عملية الإنفصال تفككت قارة لوراسيا إلي قارتين وهما أوراسيا وأمريكا الشمالية ثم بعد ذلك تفككت قارة أوراسيا إلي قارتين وهما أوروبا وأسيا ، بينما قارة جندوانا وهي كانت النصف الجنوبي من الكرة الآرضية ، وتشمل القارات الأتية : أمريكا الجنوبية وأفريقيا وأستراليا والقارة القطبية الجنوبية.

وقد فسر العالم الفريد فيجنر أن سبب هذا الإنفصال هو أنَّ التيارات الناقلة للحرارة (تيارات الحمل) الموجودة في طبقة الستار لها قدرة هائلة علي تجعد القشرة الآرضية وتصدعها ، مما أدي إلي إختلاف كبير في تضاريس الآرض خاصة علي حواف القارات الكبيرة مثل أمريكا الشمالية وأمريكا الجنوبية وأفريقيا وأستراليا.

الشواهد المؤيدة لنظرية الزحزحة القارية

أولاً : المغناطيسية القديمة ◄ **وهي عبارة عن مغناطيسية الصخور التي تحتوي علي معادن قابلة للمغنطة مثل أكاسيد الحديد والتي تتأثر بالمجال المغناطيسي للآرض أثناء تكون تلك الصخور ، وبعض المعادن المغناطيسية في الصخور تتشابه في إتجاه وشدة المجال المغناطيسي عند تكوينها علي نفس دوائر العرض ، كما إنها تُعطي شواهد علي سلوك المجال المغناطيسي للآرض في العصور المختلفة.**

وبقياس إتجاه المجال المغناطيسي ودرجة ميله يمكن تعيين موقع القطب المغناطيسي للآرض وقت تكون الصخر ، فالصخور التي تحتوي علي معادن مغناطيسية وتكونت علي دائرة الإستواء يكون ميلها المغناطيسي صفر ، لأن المجال المغناطيسي للآرض سيؤثر علي ترتيب أكاسيد الحديد الموجودة في الصخر علي هيئة خطوط أفقية موازية لدائرة الإستواء ، بينما الصخور التي تحتوي علي معادن مغناطيسية وتكونت عند القطب الشمالي أو القطب الجنوبي يكون ميلها المغناطيسي 90 درجة ، لأن المجال المغناطيسي للآرض سيؤثر علي ترتيب أكاسيد الحديد الموجودة في الصخر علي هيئة خطوط راسية عمودية علي القطب الشمالي أو القطب الجنوبي.

ومما سبق يدل علي أن سلوك المجال المغناطيسي للآرض مختلف ، فعند دائرة الإستواء يتبع سلوك مغناطيسي يختلف عن السلوك المغناطيسي عند القطب الشمالي أو القطب الجنوبي ، ومن هنا قام العالم فيجنر بدراسة مغناطيسية الصخور عند القطب الشمالي والتي تم الإتفاق أن ميلها المغناطيسي يساوي 90 درجة ، فـ لأحظ وجود صخور لها ميل مغناطيسي يساوي 20 درجة عند القطب الشمالي مما يدل علي حدوث زحزحة قارية.

ثـانياً : المناخ القديم

في المناخ الحالي تنتظم الأحزمة المناخية في نطق متوازية تمتد من الشرق للغرب ، وتتدرج من المناخ الإستوائي ثم المناخ المداري ثم المناخ المعتدل ثم المناخ المتجمد القطبي ، وهي متوازية مع خط الإستواء ومتمركزة حول قطبي الآرض.

بينما أمكن التعرف علي المناخ القديم والنطاقات المختلفة له ووجدناها إختلفت في أوضعها عن الوضع الحالي بالنسبة لقطبي الآرض وخط الإستواء ، وهذا يثبت إختلاف كتل اليابسة عن وضعها الآن بسبب ظاهرة الإنجراف القاري ، وذلك من خلال دراسة :-

- **المتبخرات القديمة : وهي عبارة عن رواسب ملحية تراكمت علي هيئة طبقات نتيجة تبخر المحاليل الحاوية علي تلك الأملاح في مناطق مناخية جافة (مناطق مدارية) ، حيثُ توجد حالياً في مناطق شديدة البرودة كـ شمال أوروبا وكندا.**
- **أحافير الشعب المرجانية : وهي لا تتواجد إلا في بيئة مدارية بينما توجد حالياً قرب المنطقة القطبية مما يدل علي إن هذه المناطق كانت في بيئة مختلفة عن وضعها الحالي.**
- **طبقات الفحم : وهي لا تتواجد إلا في بيئة إستوائية بينما توجد حالياً قرب المنطقة القطبية مما يدل علي إن هذه المناطق كانت في بيئة مختلفة عن وضعها الحالي.**

ثـالثـاً : البناء الجيولوجي للقارات

لأحظ الفريد فيجنر التشابه الشديد بين تعرجات الساحل الغربي لقارة أفريقيا وأوروبا مع تعرجات الساحل الشرقي لقارة أمريكا الجنوبية وأمريكا الشمالية كما لو كانت قطعة واحدة وتفككت ، ولأحظ أيضاً التشابه بين صخور القارات المختلفة وكذلك تشابه الحفريات الموجودة في هذه الصخور ، مثل التشابه بين سلاسل جبال جنوب أفريقيا شرقاً مع سلاسل جبال أستراليا وكذلك التشابه بين سلاسل جبال جنوب أفريقيا غرباً مع سلاسل جبال جنوب أمريكا الجنوبية (الأرجنتين).

نظرية الألواح التـكـتـونـيـة Tectonic Plates

تعتبر نظرية الصفائح التكتونية من أكثر النظريات إنتشاراً وقبولاً بين الجيولوجيين نظراً لإمكانية تحقيق أفتراضاتها علي ما هو قائم علي الآرض ، وتكتسب أهميتها من أنها أعطت تفسيراً موحداً للظواهر السطحية الرئيسية علي الكرة الآرضية ، كما إنها تعتبر إحدي النظريات التي تخص الغلاف الصخري للآرض ، وقد بُنيت هذه النظرية علي نظرية الزحزحة القارية.

كما سبق ذكره أن الغلاف الصخري لكوكب الآرض يتكون من القشرة الآرضية والوشاح ولب الآرض ، وتحتوي القشرة الآرضية ما نراه من سطح الآرض مثبت علي ما يُسمي بالصفائح التكتونية ، وهي عبارة عن ألواح صخرية صلبة يبلغ سمكها 100 كم ، وتتحرك هذه الصفائح بشكل دائم فوق الجزء العلوي من الوشاح (Asthenosphere) الذي يحتوي علي مواد منصهرة تتكون من معادن وصخور تعرضت لدرجات حرارة عالية تسببت بوجودها علي هيئة مائعة (تتصرف تصرف السوائل).

والمبدأ الأساسي لهذه النظرية يعمل علي فصل كافة الصفائح التكتونية عن بعضها البعض ، وتتحرك هذه الصفائح ببطء شديد بالنسبة إلي بعضها البعض ، حيثُ تتراوح حركة هذه الصفائح لمسافة تصل إلي 40 مم في السنة ، وهناك أماكن أخري تتسم بالحركة الأسرع ، ويُسبب هذا التحرك وإن كان بطيئاً قدر هائل من التشوه عند حدود الصفائح مما يسبب بدوره إلي حدوث زلازل.

والألواح التكتونية أما أن تـكون :-

- **ألواح قارية Continental Plates : عبارة عن الألواح التي توجد علي اليابسة مثل اللوح الأفريقي.**
- **ألواح محيطية Oceanic Plates : عبارة عن الألواح التي توجد بقاع المحيط مثل اللوح المحيطي الهادي.**

حيثُ أمكن من دراسة وتسجيل مراكز الزلازل علي خريطة العالم تحديد سبعة ألواح تكتونية كبيرة وهي : اللوح الأفريقي ، واللوح الأمريكي الشمالي ، واللوح الأمريكي الجنوبي ، واللوح الأسترالي ، واللوح الأوربي الأسيوي (الأوراسي) ، واللوح القطبي الجنوبي واللوح المحيطي الهادي.

شرح آلية حركة الألواح التكتونية

تتحرك الصفائح التكتونية بسبب الحرارة العالية في لب الآرض والتي تُسبب حركة طبقة الوشاح الذي يتميز بأنه يحتوي علي مواد منصهرة تشكلت بفعل درجات الحرارة المرتفعة في تلك الطبقة ، وعندما تنصهر المواد في طبقة الوشاح فإن كثافتها تقل ثم ترتفع إلي أعلي ثم ينزل مكانها مكونات أكثر كثافة ، ثم تزداد الكثافة عند الصعود لإعلي ثم تنزل مرة أخري لإسفل وهكذا فتغوص في الوشاح مكونه ما يُسمى بتيارات الحمل الحراري (Convection Currents) والتي تعد السبب الرئيسي لحركة هذه الصفائح.

إذن مما سبق نستنتج أن سبب حركة الألواح التكتونية هو التباين في توزيع درجات الحرارة في نطاق الوشاح فتتكون تيارات الحمل الدورانية في الطبقة العليا من الوشاح.

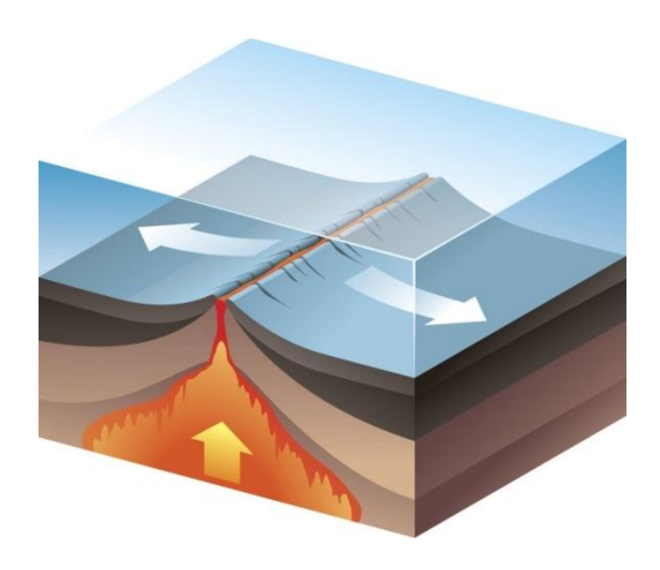
حدود الصفائح التكتونية TECTONIC PLATES BOUNDARIES

أولاً : الحدود التباعدية (البناءة) Divergent Plate Boundaries

يقصد بهذه الحدود أن الصفائح التكتونية تتباعد عن بعضها البعض في أتجاهين متضادين ، ويحدث هذا التباعد بسبب تصاعد الصخور المنصهرة الساخنة إلي إرتفاعات حيود وسط المحيط (Mid-ocean Ridges) مما يؤدي إلي تباعد الصفائح عن بعضها ، وتُعرف بإسم الحدود البناءة ؛ لأنها تساهم في بناء القشرة الآرضية وينشأ عنها لوح محيطي جديد.

وأقرب مثال لذلك هو عند تباعد أمريكا الجنوبية عن قارة أفريقيا نشأ لوح محيطي جديد وهو المحيط الأطلسي ، وكانت الهند قديماً تابعة لقارة جندوانا ثم أنفصلت عنها وتباعدت ونتيجة هذا التباعد عن باقي قارات جندوانا نشأ المحيط الهندى.

وقد يحدث التباعد بين لوحين قارين مثل تباعد اللوح العربي (شبه الجزيرة العربية) عن اللوح الأفريقي ونتيجة هذا التباعد تَكون البحر الأحمر ، ومعدل التباعد بين اللوح العربي واللوح الأفريقي هو (2.5 سم / سنة) مما يدل علي أن البحر الأحمر في حالة إتساع مستمر ويصبح محيطاً بمرور السنين.



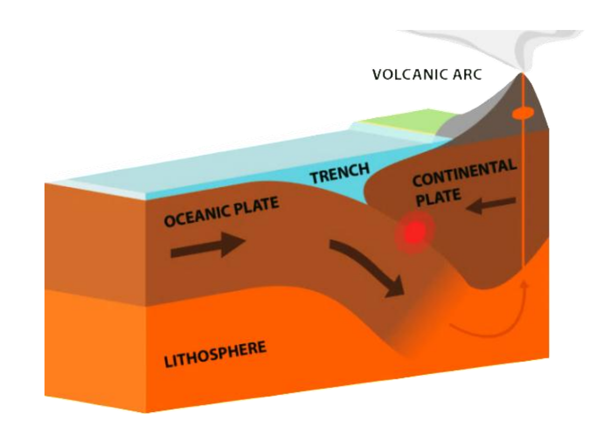
ثـانياً : الحدود التقاربية (الهدامة) Convergent Plate Boundaries

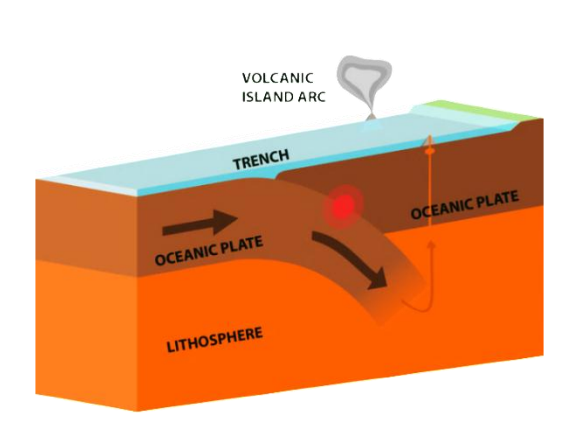
يقصد بهذه الحدود أن الصفائح التكتونية تتقابل أو تتصادم مع بعضها البعض ، وقد سُميت حدود تقارب نظراً لتقارب اللوحين المتقابلين مما يؤدي إلي إنزلاق أحدهما تحت الأخر أو تصادم أحدهما مع الأخر ، وقد تُسمي أيضاً حدود هدامة ؛ لأن جزء من القشرة الآرضية المتكون بالفعل يعود لينصهر ويذوب في الوشاح وهذا يمثل هدماً لما هو موجود بالفعل.

ويمكن تـقسيم حركة تقارب الصفائح إلِي ما يلِي :-

- **عند تقارب لوح قاري مع لوح قاري : يحدث تصادم بينهما ونتيجة لذلك تتكون سلاسل جبالية مثل جبال الهيمالايا في الهند التي نشأت نتيجة تقارب الهند من قارة أوراسيا.**
- **عند تقارب لوح محيطي مع لوح محيطي : ينزلق اللوح المحيطي الأكثر كثافة تحت اللوح المحيطي الأقل كثافة مما يؤدي إلي إنصهار اللوح المنزلق إلي أسفل وينتج عن ذلك ثوران البراكين تحت سطح الماء مما يؤدي إلي تكون جزر بركانية.**

- عند تقارب لوح محيطي مع لوح قاري : ينزلق اللوح المحيطي تحت اللوح القاري ؛ لأن اللوح المحيطي أكبر كثافة من اللوح القاري ، فتنزل الصفيحة المحيطية إلي الوشاح مما يجعلها تتعرض إلي درجات حرارة عالية حتي تنصهر وتذوب ، فتبدأ الصهارة في الصعود إلي أعلي ، وإذا وصلت إلي السطح دون أن تتصلب فسوف تتحول إلي ثوران بركاني ، ومن الأمثلة الناتجة عن هذه الحدود سلسلة جبال الأنديز في أمريكا الجنوبية.





ثالثاً : الحدود التحويلية Transform Plate Boundaries

تُسمي أيضاً بالحدود المحافظة ؛ لأنه لا ينتج عنها زيادة ولا نقص في حجم القشرة الآرضية وإنما هي تحركات جانبية أفقية ، وينتج عن هذه الحركة أحتكاك شديد جداً مما يؤدي إلي حدوث الزلازل ، ومن أشهر أمثلة هذه الحركات حد مدينة سان أندرياس في ولاية كاليفورنيا بالولايات المتحدة الأمريكية.

